

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Edin Duboković

Zagreb, 2009.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor

Prof. dr. sc. Tomislav Zaplatić

Edin Duboković

Zagreb, 2009.

SAŽETAK

U ovom radu analizirani su postupci izrade zakrivljenih sekcija u brodograđevnom procesu te su predložena moguća rješenja za veću proizvodnost i bolju iskoristivost postojećeg kapaciteta brodogradilišta.

Uvodni dio rada obuhvaća općenita pojašnjenja vezana za brodograđevni proces.

U drugom poglavlju analiziraju se zakrivljene sekcije iz proizvodnog programa brodogradilišta, tj. količina zakrivljenih sekcija, mase zakrivljenih sekcija, položaj na brodu te način izrade.

Treće poglavlje opisuje tok materijala kroz brodogradilište. Pojašnjavaju se određeni procesi pripreme materijala za izradu zakrivljenih sekcija tj. do početka procesa predmontaže sekcija.

U četvrtom poglavlju opisani su postupci zavarivanja koji se koriste u izradi zakrivljenih sekcija. Također je opisana i priprema rubova limova za zavarivanje.

U petom poglavlju dan je detaljni prikaz izrade 4 karakteristične zakrivljene sekcije. Opisane su 3 postojeće metode za izradu zakrivljenih sekcija.

U šestom poglavlju analizira se jedno od predloženih načina izrade zakrivljenih sekcija, tj. na podesivim uporama dok se u sedmom poglavlju analizira izrada zakrivljenih sekcija na automatiziranoj liniji.

Usporedba postojećeg načina izrade i predloženih rješenja analizira se u osmom poglavlju. Analizirana je ušteda radnih sati koja se manifestira kao veća proizvodnost i procijena povrata investicije za automatiziranu liniju.

SADRŽAJ

1. UVOD	11
2. ZAKRIVLJENE SEKCIJE IZ PROIZVODNOG PROGRAMA BRODOGRADILIŠTA13	
2.1. Općenito o sekcijama	13
2.2. Analiza zakrivljenih sekcija brodova iz proizvodnog programa brodogradilišta.....	16
2.2.1. Analiza zakrivljenih sekcija broda za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera, gradnja 476.....	16
2.2.2. Analiza zakrivljenih sekcija broda jaružara, gradnja 480.....	28
3. TOK MATERIJALA U BRODOGRADLIŠTU	38
4. TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA I PRIPREME SPOJEVA	49
4.1. Ručno – elektrolučno zavarivanje (REL)	51
4.2. Elektrolučno zavarivanje pod zaštitnom atmosferom (MAG)	53
4.3. Elektrolučno zavarivanje pod praškom (EPP).....	54
4.4. Priprema spoja za zavarivanje	56
5. PREDMONTAŽA KARAKTERISTIČNIH ZAKRIVLJENIH SEKCIJA - POSTOJEĆI NAČIN	61
5.1. Analiza izrade sekcije 2021 (dvodno strojarnice R35- R53) gradnje 476	62
5.2. Analiza izrade sekcije 3381 (oplata boka dolje R Z-11) gradnje 476	72
5.3. Analiza izrade sekcije 4052 (pramac – 6. paluba R240- R260) gradnje 476	78
5.4. Analiza izrade sekcije 3251 (2. paluba R 217- R 229) gradnje 476.....	84
6. IZRADA ZAKRIVLJENIH SEKCIJA NA PODESIVIM UPORAMA	90
6.1. Analiza izrade sekcije 2021 (dvodno strojarnice R35- 53) gradnje 476 na podesivim uporama	91
6.2. Analiza izrade sekcije 3381 (oplata boka dolje R Z-11) gradnje 476 na podesivim uporama	97

6.3. Analiza izrade sekcije 3251 (2. paluba R 217- R 229) gradnje 476 na podesivim uporama	98
6.4. Analiza izrade sekcije 4052 (pramac – 6. paluba R 240- R 260) gradnje 476 na podesivim uporama.....	100
7. AUTOMATIZIRANA LINIJA ZA IZRADU ZAKRIVLJENIH SEKCIJA	102
7.1. Analiza izrade sekcije 221 (dvodno strojarnice R35- R53) gradnje 476 na automatiziranoj liniji.....	103
7.2. Analiza izrade sekcije 3381 (oplata boka dolje R Z-R11) gradnje 476 na automatiziranoj liniji.....	106
7.3. Analiza izrade sekcije 3251 (2. paluba R 217- R 229) gradnje 476 na automatiziranoj liniji.....	108
7.4. Analiza izrade sekcije 4052 (pramac – 6. paluba R 240- R 260) gradnje 476 na automatiziranoj liniji.....	109
8. USPOREDBA POSTOJEĆEG STANJA SA NOVIM RIJEŠENJIMA PREDMONTAŽE ZAKRIVLJENIH SEKCIJA	110
8.1. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 2021	112
8.2. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 3381	116
8.3. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 3251	118
8.4. Tehno-ekonomska analiza uvođenja novih metoda izrade zakrivljenih sekcija	120
8.4.1. Analiza izrade na podesivim uporama na neautomatizirani način	120
8.4.2. Analiza izrade na automatiziranoj liniji za zakrivljene sekcije.....	122
9. ZAKLJUČAK	124
10. LITERATURA.....	126

I. Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Fizikalna veličina
B	[m]	širina broda
C	[€]	cijena radnog sata po radniku
C _{P2-A}	[€]	cijena izrade na postojeći način
C _{P2-B}	[€]	cijena izrade na automatiziranoj liniji
D	[m]	visina do gornje palube
DWT	[t]	nosivost broda
k		postotak zakrivljenih sekcija u makroprostoru
L	[m]	duljina zavora
L _{oa}	[m]	duljina preko svega
L _{pp}	[m]	duljina između okomica
m _{grupe} ukupno	[t]	ukupna masa grupe
m _{zak} sekcija	[t]	masa zakrivljenih sekcija
N _{dana}		broj radnih dana u godini
N _{radnika}		broj stalno zaposlenih u hali
N _{rebrenica}		broj rebrenica na kojima se privaruje
N _{sati}		broj radnih sati po radniku dnevno
N _{zavora}		broj zavora po rebrenici
N _{zavarivača}		broj zavarivača
n _{ukupno} sekcija		ukupni broj sekcija u grupi
n _{zak} sekcija		broj zakrivljenih sekcija u grupi
T	[m]	gaz broda
t _{okretanje}	[h]	vrijeme potrebno za okretanje
t _{privar}	[min]	vrijeme potrebno za privarivanje
t _{ukupno}	[t]	ukupno vrijeme potrebno za privarivanje za jednog zavarivača
V _{MAG}	[m/s]	brzina zavarivanja MAG metodom
Δc	[€]	razlika u cijeni rada

II. Popis slika

Slika 1	Principijelna shema tokova materijala u brodogradilištu	9
Slika 2	Uzdužni presjek broda za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera	15
Slika 3	Podjela gradnje 476 na makroprostore	16
Slika 4	Uzdužni presjek broda jaružara	27
Slika 5	Podjela gradnje 480 na makroprostore	28
Slika 6	Skica toka materijala zakrivljenih sekcija u brodogradilištu	37
Slika 7	Valjčasta staza na ulazu u predobradu	38
Slika 8	Valjci u predobradi	39
Slika 9	Stroj za rezanje limova plazmom	40
Slika 10	Stroj za rezanje limova acetilenom i kisikom (oxy)	41
Slika 11	Grafički prikaz brzine rezanja u ovisnosti o debljini lima	41
Slika 12	Robotska ruka za rezanje acetilenom i kisikom (oxy) desno i kućište plazma robotske ruke lijevo	42
Slika 13	Shematski prikaz rasporeda valjaka za savijanje limova	43
Slika 14	Kontrola zakrivljenosti drvenim šablonama	44
Slika 15	G preša za oblikovanje limova	45
Slika 16	Preša za savijanje profila metodom uzdužnog pomaka	46
Slika 17	Principijelna shema elektrolučnog zavarivanja	47
Slika 18	Principijelna shema REL zavarivanja	49
Slika 19	Principijelna shema MAG zavarivanja	51
Slika 20	Principijelna shema EPP zavarivanja	52
Slika 21	Skica sušelnog I spoja i sučelnog Y spoja	53
Slika 22	Standardizirani sučeljni I spoj	54
Slika 23	Standardizirani sučeljni V spoj	55
Slika 24	Standardizirani sučeljni polovični V spoj	56
Slika 25	Standardizirani sučeljni V spoj	57
Slika 26	Standardizirani sučeljni polovični V spoj	58
Slika 27	Izometrijski prikaz sekcije 2021	60
Slika 28	Izometrijski prikaz podsekcije C	61
Slika 29	Izometrijski prikaz sklopa izrađenog u fazi 1	62
Slika 30	Izometrijski prikaz sklopa izrađenog u fazi 2	62
Slika 31	Prikaz montaže centralnog dijela podsekcije C na sklop hrptenjaka 1	63
Slika 32	Izometrijski prikaz bočnih podsekcija A i B	64
Slika 33	Postavljanje limova vanjske oplata	66
Slika 34	Izometrijski prikaz nadsklopa N51	67
Slika 35	Pozicionirani limovi vanjske oplata na radnoj platformi radionice	67
Slika 36	Izometrijski prikaz nadsklopova N51 i N52	68
Slika 37	Površina za izradu sekcije 2021 u hali P3	69

Slika	38	Izometrijski prikaz sekcije 3381	70
Slika	39	Izometrijski prikaz podsekcije A	71
Slika	40	Grafički prikaz visina podupiranja limova	72
Slika	41	Izometrijski prikaz sklopa 6. palube	73
Slika	42	Površina za izradu sekcije 3381 u radionici P2	75
Slika	43	Izometrijski prikaz sekcije 4052	76
Slika	44	Sidrena niša	78
Slika	45	Lančanik	79
Slika	46	Lepezasta rebra i proveza 5. palube	80
Slika	47	Površina za izradu sekcije 4052 u radionici P2	81
Slika	48	Izometrijski prikaz sekcije 3251	82
Slika	49	Izometrijski prikaz podsekcije A	84
Slika	50	Izometrijski prikaz nadsklopova N51 i N52	84
Slika	51	Grafički prikaz kolijevke sa dijagonalama za kontrolu	85
Slika	52	Izrada zakrivljenih sekcija na podesivim uporama (jiggovima)	88
Slika	53	Raspored radnih površina u hali P2	89
Slika	54	Sekcija 2021 u položaju montaže	89
Slika	55	Površine predviđene za izradu sekcije 2021 u hali P2	94
Slika	56	Površine predviđene za izradu sekcije 3381 u hali P2	96
Slika	57	Površine predviđene za izradu sekcije 3251 u hali P2	98
Slika	58	Površine predviđene za automatiziranu liniju u hali P2	101

III. Popis tablica

Tablica 1	Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 1 gradnje 476	17
Tablica 2	Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 2 gradnje 476	18
Tablica 3	Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 3 gradnje 476	20
Tablica 4	Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 4 gradnje 476	23
Tablica 5	Prikaz postotka zakrivljenih sekcija za gradnju 476	24
Tablica 6	Postotak zastupljenosti metoda izrade zakrivljenih sekcija po makroprostorima za gradnju 476	25
Tablica 7	Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 1 gradnje 480	30
Tablica 8	Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 4 gradnje 480	33
Tablica 9	Prikaz postotka zakrivljenih sekcija za gradnju 480	34
Tablica 10	Postotak zastupljenosti metoda izrade zakrivljenih sekcija po makroprostorima za gradnju 480	35
Tablica 11	Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 2021	110
Tablica 12	Usporedba aktivnosti za izradu nadsklopova N51 i N52 sekcije 2021	112
Tablica 13	Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 3381	114
Tablica 14	Usporedba zavarivanja šavova i stikova sekcije 3381	115
Tablica 15	Usporedba aktivnosti za izradu nadsklopova n51 i N52 sekcije 3251	116
Tablica 16	Popis aktivnosti za izradu kolijevke	117
Tablica 17	Uštedeni radni sati za izradu zakrivljenih sekcija	119

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koristeći navedenu literaturu, podatke i predloške dobivene u brodogradilištu 'Uljanik', te uz stručnu pomoć mentora i inženjera iz pogona i Odjela tehnologije brodogradilišta Uljanik. Ovom im prilikom zahvaljujem na cjelokupnoj i nesebično pruženoj pomoći.

Zahvaljujem se svim prijateljima i kolegama koji su bili konstanta i velika podrška tokom čitavog studija.

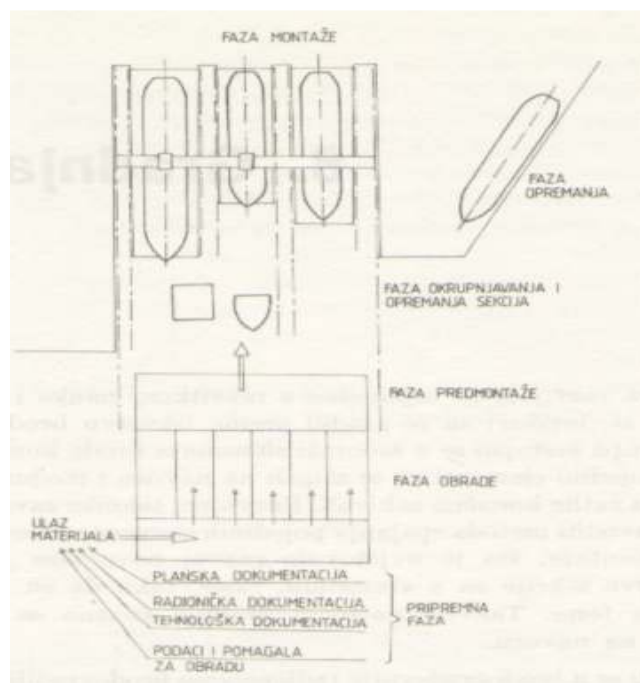
Posebno hvala mojim roditeljima koji su mi omogućili školovanje i studiranje bez čije bezuvjetne potpore i povjerenja ovaj rad ne bi bio moguć.

Mami i Tati...

1. UVOD

Gradnja brodova razvijala se usporedno s razvitkom znanosti i tehnologije i sve do početka 18. stoljeća brodovi su se gradili prema iskustvu brodograditelja. Stari način gradnje trupa sastojao se u montaži elemenata broda komad po komad, tj. nakon obrade pojedini elementi su se slagali na navozu i međusobno privremeno spajali vijcima, a zatim konačno zakivali. Razvojem tehnike zavarivanja počela se u brodogradnji uvoditi metoda spajanja pojedinih elemenata trupa u sekcije izvan mjesta montaže, što je uvjetovalo razvoj nove faze gradnje nazvane predmontaža. Dimenzije i mase sekcija su vremenom rasle, tako da su danas teške i do nekoliko stotina tona. Takvim načinom organizacije gradnje znatno se skratilo vrijeme boravka broda na navozu i time se omogućio veći obim proizvodnje.

Trup broda gradi se u brodograđevnim radionicama brodogradilišta i na navozu. Proces gradnje broda se dijeli na: pripremne radove, izradu elemenata trupa i opreme broda, predmontažu trupa i opreme, montažu trupa na navozu ili suhom doku, porinuće broda te opremanje i primopredajna ispitivanja nakon porinuća na opremnoj obali. Primjer slijeda toka materijala u brodogradilištu prikazan je slikom 1.



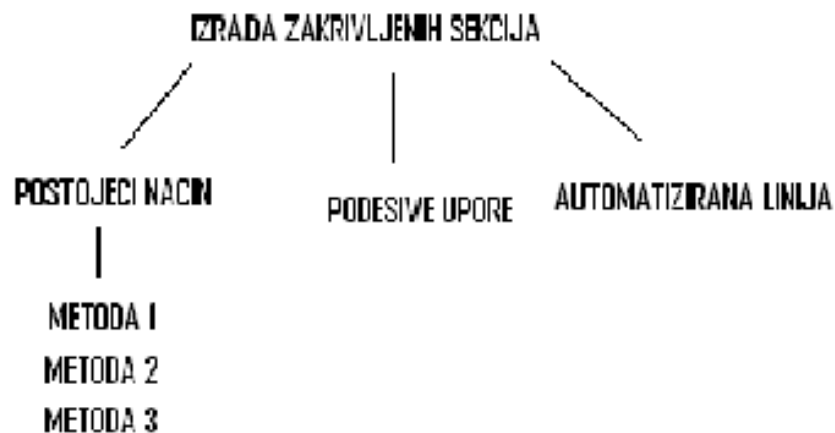
Slika 1. Principijelna shema tokova materijala u brodogradilištu

Sve gore spomenute faze moraju se odvijati u točno definiranim rokovima, kako bi materijal, elementi, sekcije i dijelovi opreme tekli kroz proizvodni proces najkraćim putem i bez križanja transportnih puteva. Međutim nije uvijek moguće organizirati takvu proizvodnju jer ograničavajući faktori su oblik teritorija i akvatorija, ali uvijek se u organizaciji proizvodnje teži ka tome da tokovi materijala budu pravocrtni.

Tehnološki proces u brodogradnji ima određenih specifičnosti koje se ne susreću kod drugih djelatnosti. To su: pojedinačna proizvodnja, raznovrsnost zanata zastupljenih u gradnji broda, velike težine i dimenzije elemenata i sekcija, izrada i montaža su prostorno neovisni, u brod se ugrađuje niz najrazličitijih proizvoda, poluproizvoda i sirovina kao proizvodi niza različitih industrijskih grana.

Takav složeni proces gradnje broda karakterizira se kao isprekidani ili intermitentni gdje je glavna karakteristika isprekidanost u tokovima materijala. Specifičnost takvog procesa je taj da se ljudi kreću a predmeti rada stoje. Raznolikost finalnih proizvoda traži fleksibilnost tokova materijala, a često i promjenu redoslijeda operacija. Radnje se ne mogu usitniti, zbog toga se radnici i radni prostori ne mogu specijalizirati za jedinstveni proizvod već moraju biti osposobljeni i fleksibilni na raznovrsnost proizvoda.

Jedan od takvih proizvoda jesu i zakrivljene sekcije od kojih su sastavljeni krmni pik, predio strojarnice i pramčani pik. Nakon što se analizira količina zakrivljenih sekcija te njihov točni položaj na brodu u radu se dalje analizira izrada zakrivljenih sekcija i to postojećim metodama i novim predloženim metodama kao što je prikazano grafički.



2. ZAKRIVLJENE SEKCIJE IZ PROIZVODNOG PROGRAMA BRODOGRADILIŠTA

Proizvodni program brodogradilišta sastoji se od izgradnje dvije vrste vrlo specifičnih i specijaliziranih brodova. Prva vrsta je brod za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera dok je druga vrsta brod-jaružar tj. brod za produbljivanje mora i podvodne iskope. Svaka gradnja sastoji se od mnoštva predmontažnih sekcija i ukрупnjenih sekcija. U ovoj točki će se za svaki tip broda posebno analizirati zakrivljene sekcije po grupama. Definirati će se njihova pozicija na brodu, broj, masa te gabariti.

2.1. Općenito o sekcijama

Sekcijama se nazivaju dijelovi trupa broda predmontirani van navoza ili građevnog doka. Za razliku od sklopova, sekcije su obično većih dimenzija i težina. Predmontiranje sekcija na posebnim radnim platformama omogućuje mnogo bržu gradnju broda, jer je tako povećana radna površina na kojoj se gradi brod, a moguć je istovremeni rad većeg broja radnika na većem broju sekcija.

Veličina sekcija trupa zavisi o mogućnosti njihova transporta u brodogradilištu, odnosno o nosivosti dizalica kojima je potrebno sekcije tijekom predmontaže preokretati te prenositi na navoz tj. na mjesto montaže. Masa sekcija je vrlo različita. U nekim brodogradilištima je svega desetak tona, dok je u nekim odavno premašeno i nekoliko tisuća tona. To su blokovi i moduli za koje je potrebno horizontalno građevno mjesto, suhi dok najčešće, za koje su potrebne dizalice velikih nosivosti. U pogonu brodogradilišta nosivost pojedinih dizalica nije veća od 150 tona što je ograničavajući faktor za krojenje sekcija. Ako se ide preko te mase onda mjesto izrade sekcije mora biti u dohvatu 2 dizalice da bi one u paru mogle obavljati operacije dizanja, okretanja i transporta. Postoji postupak ukрупnjavanja sekcija manjih dimenzija i masa u jednu veću i tako se smanjuje broj dizanja i montiranja sekcija u brod. Uvođenjem veće portalne dizalice smanjio bi se broj sekcija za montažu a samim time i ubrzala montaža trupa i opreme broda.

Trup broda podijeljen je na pet makroprostora ovisno o kojem se dijelu radi. Svaki makroprostor podijeljen je u grupe koje se sastoje od određenog broja sekcija i podsekcija, ovisno o projektu. Oznaka grupe se sastoji od 4 brojke od koje svaka ima svoje značenje, na primjer:

Grupa 3034.

Prva znamenka odnosi se na područje broda tj na makroprostor. Brod je podijeljen u 5 područja. To su redom:

- 1 – područje krmenog pika
- 2 – područje strojarnice
- 3 – područje teretnog prostora
- 4 – područje pramčanog pika
- 5 – nadgrađe.

Druge dvije znamenke skupa sa prvom označavaju broj grupe, s time da prva znamenka može biti samo od 1 do 5 dok druge dvije se kreću od 1 do 99 po potrebi. Posljednja znamenka označava broj sekcije u toj grupi s time da je pravilo da parni brojevi označavaju desni položaj sekcije dok neparni broj označava lijevi položaj sekcije s obzirom na centralnu os broda.

Za organizaciju izrade sekcija po brodograđevnim radionicama bitni parametri jesu presjeci broda. Na osnovu različitih presjeka broda mogu se detektirati različiti geometrijski oblici budućih sekcija i tako se može grupirati izrada po vrstama sekcija tj. po familijama sličnih sekcija za pojedini makroprostor.

Postoje:

- ravne plosnate sekcije (oplata boka broda za prijevoz automobila i palube)
- kutijaste ili prizmatične sekcija koje se sastoje od ravnih panela (dvodno broda za prijevoz automobila i dobar dio centralnog dijela broda-jaružara)

- volumne zakrivljene sekcije (pikovi, strojarnica i dijelovi teretnog prostora prema pramcu i prema krmi broda za prijevoz automobila)

Prve dvije od gore navednih skupina se uglavnom izrađuju u brodograđevnoj radionici koja je opremljena panel linijom. To je velikim dijelom automatizirana linija proizvodnje, jer sama geometrija sekcija to dozvoljava. Volumne zakrivljene sekcije nešto su zahtjevnije za izradu i zbog toga njihova izrada je organizirana u predmontažnim radionicama nazvane P2 i P3 koje su uz sam navoz gdje je dohvat dizalica velikih nosivosti i gdje proizvodnja nije automatizirana već do izražaja dolaze zanatske vještine radnika brodomontera i zavarivača.

U brodogradilištu se koriste 3 metode za izradu zakrivljenih sekcija. U ovoj točki samo se navode a detaljniji opis slijedi kasnije gdje se detaljno opisuje pojedina izrada sa tehnološkim postupcima i detaljima.

Metoda 1. Prvi način izrade zakrivljene sekcije je kada je sekcija okrenuta na krov, obrnuto od položaja montaže. Sekcija je oslonjena na ravni dio, krov sekcije, koji se nalazi na podu radionice, na njega se stavlja struktura (rebrenice, uzdužni nosač - hrptenjaci, uzdužnjaci itd.) te se na kraju sekcija oblaže oplatom koja je zakrivljena. Ova metoda se koristi za sekcije sa značajnijom zakrivljenošću.

Metoda 2. Drugi način je izrada na oplati sekcije. Budući da je baza za izradu sekcije sama oplata sekcije, ona je oslonjena na pod radionice ali mora biti poduprta uporama da bi bila stabilna tj. da se ne ljulja. Odjel numeričkog trasiranja daje podatke za određene visine po šavovima i stikovima te se limovi oplata podupru malim uporama ili pomoćnim trakama i tako se fiksira lim oplata. Nakon toga slijedi postavljanje strukture (rebra, uzdužnjaci itd.). Ova metoda se koristi kod sekcija sa malom zakrivljenošću.

Metoda 3. Treći način jest izrada sekcije u kolijevci. Budući da su te sekcije jako zakrivljene potrebno je napraviti kolijevku koja prati oblik vanjske oplata sekcije. Kolijevka se sastoji od točno odrezanih limova koji se moraju postaviti po šavovima i stikovima po podacima iz odjela za numeričko trasiranje. Kada je ona postavljena na nju se postavljaju limovi oplata sekcije te se na njih montira struktura (rebrenice, pregrade itd.).

2.2. Analiza zakrivljenih sekcija brodova iz proizvodnog programa brodogradilišta

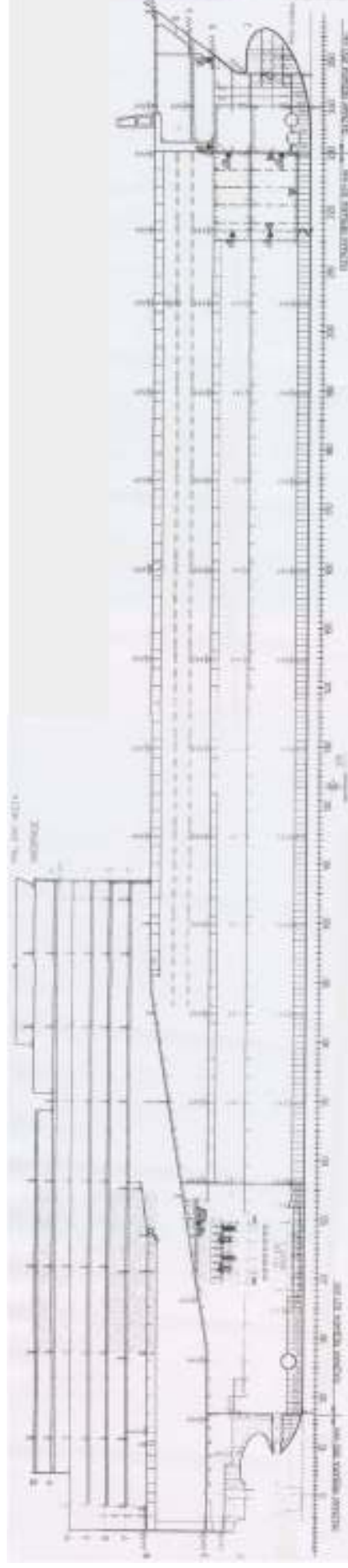
U ovom poglavlju analiziraju se zakrivljene sekcija brodova za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera te broda jaružara. Analiza je napravljena prema makroprostorima brodova i prema zastupljenosti zakrivljenih sekcija u brodu u vidu njihove mase prema ukupnoj masi svih sekcija. Napravljena je i analiza zastupljenosti pojedine metode njihove izrade. Rezultati su prikazani u tablicama, a sadrže broj i naziv grupe, broj i masu sekcija u grupi te ukupnu masu sekcija.

2.2.1. Analiza zakrivljenih sekcija broda za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera, gradnja 476

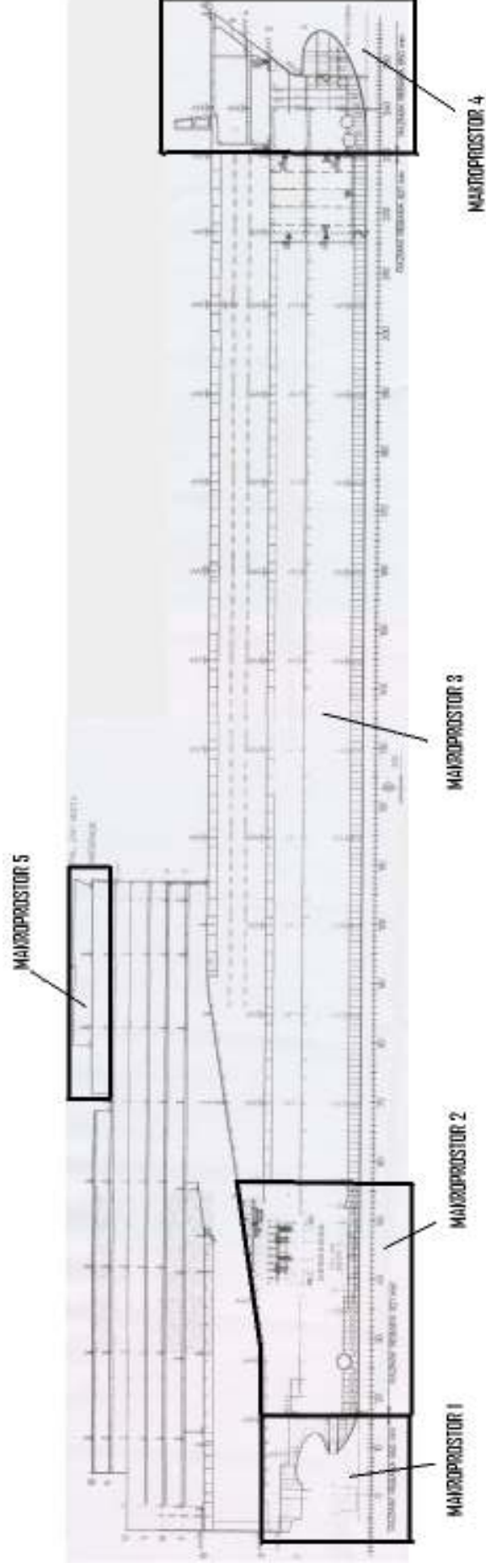
Novogradnja broj 476 je brod za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera (eng. RO-RO/Container). Kapacitet broda je 3980 automobila i 1360 kontejnera. Slikom 2 prikazan je uzdužni presjek broda, a slikom 3 podjela na makroprostore.

Glavne dimenzije broda:

$L_{OA} = 210,92 \text{ m}$	- duljina preko svega
$L_{PP} = 196,80 \text{ m}$	- duljina između okomica
$B = 32,26 \text{ m}$	- širina
$D = 13,34 \text{ m}$	- visina do gornje palube
$T = 9,75 \text{ m}$	- gaz
$DWT = 24470 \text{ t}$	- nosivost



Slika 2. Uzdužni presjek broda za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera



Slika 3. Podjela gradnje 476 na makroprostore

Makroprostor 1- područje krmenog pika:

Ovaj makroprostor sadržava ukupno 4 sekcije i sve su zakrivljene. Sve sekcije ovog makroprostora izrađuju se metodom 1. Grupa 101 i 102 izrađuju se u radionici P2 dok se grupa 103 izrađuje u radionici P3. Obje radionice opskrbljuju vanjske dizalice nosivosti 150 tona i pomoću njih se vrši transport gotovih sekcija na antikorozivnu zaštitu ili montažu.

Tablica 1. Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 1 gradnje 476

BROJ GRUPE	NAZIV GRUPE	REBRO	NETTO	MASA SEKCIJA (t)	NETTO MASA GRUPE (t)
			1	2	
101	KRMA - DOLJE	R 9 - 17	60		60
102	KRMA - DOLJE	R Z - 8	64		64
103	KRMA - 3. PALUBA	R Z - 17	109	120	229
				UKUPNO:	353

$m_{ZAK\ SEKCIJA} = 353\ t$ - masa zakrivljenih sekcija

$m_{GRUPE\ UKUPNO} = 353\ t$ - ukupna masa grupe

$k = \frac{m_{ZAK_SEKCIJA}}{m_{GRUPE}} \cdot 100\% = 100\%$ - postotak mase zakrivljenih sekcija u makroprostoru

$n_{ZAK\ SEKCIJA} = 4$ - broj zakrivljenih sekcija u grupi

$n_{UKUPNO\ SEKCIJA} = 4$ - ukupni broj sekcija u grupi

Makroprostor 2 – područje strojarnice

Ovaj makroprostor sastoji se od ukupno 11 grupa od kojih 7 sadrže zakrivljene sekcije. Otprilike 20% ukupne mase sekcija otpada na ravne sekcije, dok je ostatak zakrivljeno što je i logično budući da je to u području strojarnice fine brodske forme.

Sekcije grupe 205 izrađuju se metodom 3. Grupa 204 se izrađuju se metodom 2 dok se sekcije ostalih grupa izrađuju metodom 1 tj. u položaju obrnutim od položaja montaže. mjesto izrade ovih zakrivljenih sekcija su radionice P2 i P3.

Tablica 2. Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 2 gradnje 476

BROJ GRUPE	NAZIV GRUPE	REBRO	NETTO	MASA	SEKCIJA (t)	NETTO MASA GRUPE (t)
			1	2	3	
201	DVODNO STROJARNICE	R 53 -56	56			56
202	DVODNO STROJARNICE	R 35 - 52	170			170
203	DVODNO STROJARNICE	R 18 - 34	74			74
204	DONJA PLATFORMA	R 36 - 56	66	59	10	135
205	DONJA PLATFORMA	R 18 - 35	64	68		132
207	3. PALUBA	R 38 - 56	88	63	16	167
208	3. PALUBA	R 18 - 37	88	82	19	189
				UKUPNO:		923

$m_{ZAK\ SEKCIJA} = 923\ t$ - masa zakrivljenih sekcija

$m_{GRUPE\ UKUPNO} = 1149\ t$ - ukupna masa grupe

$k = \frac{m_{ZAK_SEKCIJA}}{m_{GRUPE}} \cdot 100\% = 80,3\%$ - postotak mase zakrivljenih sekcija u makroprostoru

$n_{ZAK\ SEKCIJA} = 14$

- broj zakrivljenih sekcija u grupi

$n_{UKUPNO\ SEKCIJA} = 22$

- ukupni broj sekcija u grupi

Makroprostor 3 – područje skladišta

U predjelu skladišnog prostora vidljivo je da prevladavaju ravne sekcije koje se uglavnom predmontiraju u radionici gdje se nalazi panel linija.

Zakrivljene sekcije nalaze se ispod konstruktivne vodne linije na vanjskoj oplati. Brod je u ovom dijelu puniji nego u pikovima i zbog toga ih ima osjetno manje. Ovaj makroprostor sastavljen je od 99 grupa od kojih je 29 zakrivljenih, uglavnom grupe smještene više prema pramcu odnosno prema krmi te sekcije dvodna i uzvoja.

U ovoj grupi zastupljena su sve tri metode izrade zakrivljenih sekcija. Izrada u obrnutom položaju od montaže tj. metoda 1 zastupljena je u grupama: od 301 do 311 i u grupi 396.

Podlaganje na visinama, tj. metoda 2 je u grupama od 322 do 329 izuzev grupe 325 te u grupama od 350 do 352.

Metoda 3 tj. kolijevka je predviđena za grupe: 312, 313, 316, 320, 325 i 330.

Zakrivljene sekcije ovog makroprostora izađuju se u svim radionicama brodogradilišta. To su natkrivene radionice P2 i P3 te radionica na otvorenom P4 koja je opremljena portalnom dizalicom nosivosti 100 tona i montažnim krovovima. Budući da niti jedna sekcija ne premašuje 100 tona, transport nije ograničavajući faktor jer plovna dizalica ima nosivost 120 tona i pomoću nje je moguć transport sekcija sa bilo kojeg mjesta izrade sekcija do područja antikorozivne zaštite ili do područja ukрупnjavanja. Navozi su opremljeni dizalicama nosivosti 150 i 200 tona i zato se manje sekcije koje teže nekoliko desetaka tona ukрупnjavaju i tako se smanjuje broj dizanja i broj montažnih spojeva na brodu.

Tablica 3. Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 3 gradnje 476

BROJ GRUPE	NAZIV GRUPE	REBRO	SEKCIJA (t)								NETTO MASA GRUPE (t)				
			NETTO	MASA											
			1	2	3	4	5	6	7	8					
301	DVODNO SKLADIŠTA	R 57 - 69	59	46											105
302	DVODNO SKLADIŠTA	R 70 - 84	80	66											146
303	DVODNO SKLADIŠTA	R 85 - 99	90	76											166
304	DVODNO SKLADIŠTA	R 100 - 114	89	75											164
305	DVODNO SKLADIŠTA	R 115 - 129	91	75											166
306	DVODNO SKLADIŠTA	R 130 - 144	91	75											166
307	DVODNO SKLADIŠTA	R 145 - 159	87	72											159
308	DVODNO SKLADIŠTA	R 160 - 174	80	66											146
309	DVODNO SKLADIŠTA	R 175 - 189	62	47											109
310	DVODNO SKLADIŠTA	R 190 - 204	79												79
311	DVODNO SKLADIŠTA	R 205 - 229	45	29											74
312	2. PALUBA	R 57 - 69	39	39	14	14	26	26	4						162
313	2. PALUBA	R 70 - 84	33	38	16	16	26	26	5						160
316	DVOBOK	R 85 - 99	25	22	45	46	38	37							213

Tablica 3. - nastavak - Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 3 gradnje 476

BROJ GRUPE	NAZIV GRUPE	REBRO	NETTO						SEKCIJA (t)						NETTO MASA GRUPE (t)	
			1	2	3	4	5	6	7	8						
320	DVOBOK	R 145 - 159	24	24	41	41	36	35								201
321	2. PALUBA	R 160 - 174	32	31	17	17	20	20								137
322	2. PALUBA	R 175 - 189	31	30	16	16	25	25								143
323	2. PALUBA	R 190 - 204	24	23	15	15	25	26								127
324	2. PALUBA	R 205 - 216	36	12	12	16	16									92
325	2. PALUBA	R 217 - 229	64													64
326	3. PALUBA	R 160 - 174	50	47	8	8	11	11								135
327	3. PALUBA	R 175 - 189	49	46	7	7	13	13								135
328	3. PALUBA	R 190 - 204	45	42	7	7	15	15								131
329	3. PALUBA	R 205 - 216	25	26	5	5	18	18	6	6						109
330	3. PALUBA	R 217 - 229	39	17	17											80
350	OPLATA BOKA - DOLJE	R 190 - 204	42	62												104
351	OPLATA BOKA - DOLJE	R 205 - 216	44	44												88
352	OPLATA BOKA - DOLJE	R 217 - 229	58	58												116
396	ZRCALO - DOLJE - GORE	R - 3 - 10	34	32												66
															UKUPNO:	3743

$m_{ZAK\ SEKCIJA} = 3743\ t$	- masa zakrivljenih sekcija
$m_{GRUPE\ UKUPNO} = 9039\ t$	- ukupna masa grupe
$k = \frac{m_{ZAK_SEKCIJA}}{m_{GRUPE}} \cdot 100\% = 41,4\%$	- postotak mase zakrivljenih sekcija u makroprostoru
$n_{ZAK\ SEKCIJA} = 108$	- broj zakrivljenih sekcija u grupi
$n_{UKUPNO\ SEKCIJA} = 365$	- ukupni broj sekcija u grupi

Makroprostor 4 – područje pramčanog pika

Makroprostor 4 sastoji se od ukupno 8 grupa. Od svih grupa samo dvije ne sadrže zakrivljene sekcije a to su linice sa lijeve i desne strane. Upravo zbog te dvije grupe koje imaju težinu od oko 13 tona zajedno, postotak zakrivljenih sekcija nije maksimalan iako je to područje na pramčanom piku koji je sav zakrivljen.

Sekcije svih grupa izrađuju se u položaju obrnutom od položaja montaže tj. metodom 1 osim sekcije grupe 4011 koja se izrađuje metodom 3 na kolijevci i sekcije 4012 koja se izrađuje metodom 2, tj. podlaganjem na visinama.

Sve sekcije, osim sekcije 4052, izrađuju se u kooperantskom brdogradilištu. Njihova izrada dugo traje zbog složenosti konstrukcije a mase pojedinih sekcija nisu velike i plovna dizalica ih može transportirati. Zato se prepušta izrada van pogona brodogradilište da se za to isto vrijeme izradi više drugih sekcija čija izrada traje znatno kraće. Sekcija 4052 izrađuje se u radionici P2 i nju se transportira isključivo pomoću dizalica koje se nalaze pokraj navoza koje imaju dovoljnu nosivost da je podignu.

Tablica 4. Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 4 gradnje 476

BROJ GRUPE	NAZIV GRUPE	REBRO	NETTO		NETTO
			MASA SEKCIJA (t)		MASA GRUPE (t)
			1	2	
401	PRAMAC - DOLJE	R 230 - 239	22	24	46
402	PRAMAC - DOLJE	R 240 - 256	38	37	75
403	PRAMAC - GORE	R 230 - 251	58		58
404	PRAMAC 6. PALUBA	R 230 - 239	66	63	129
405	PRAMAC 6. PALUBA	R 240 - 260	42	139	181
408	VALOBRAN	R 236 - 238	22	21	43
				UKUPNO:	532

$$m_{ZAK\ SEKCIJA} = 532\ t$$

- masa zakrivljenih sekcija

$$m_{GRUPE\ UKUPNO} = 545\ t$$

- ukupna masa grupe

$$k = \frac{m_{ZAK_SEKCIJA}}{m_{GRUPE}} \cdot 100\% = 97,6\%$$

- postotak mase zakrivljenih sekcija u makroprostoru

$$n_{ZAK\ SEKCIJA} = 11$$

- broj zakrivljenih sekcija u grupi

$$n_{UKUPNO\ SEKCIJA} = 18$$

- ukupni broj sekcija u grupi

Makroprostor 5 – nadgrađe

Područje nadgrađa je u potpunosti ravan i tu nema niti jedna sekcija koja sadrži zakrivljene elemente. Sastoji se od 6 grupa i dvadesetak ravninskih sekcija koje se (osim grupe 503) izrađuju pogonima dislociranim van samog brodogradilišta jer im masa i gabariti dozvoljavaju transport po javnim prometnicama, a samim time oslobađaju radnu površinu brodogradilišta u predmontažnim radionicama koje su u dohvat dizalica većih nosivosti.

Gradnja 476 i slične gradnje u seriji imaju gotovo pola strukture koja je zakrivljena što pokazuje tablica 5.:

Tablica 5. Prikaz postotka zakrivljenih sekcija za gradnju 476

	Masa Zakrivljenih [t]	Ukupna masa [t]	Postotak zakrivljenih
Makroprostor 1	353	353	100
Makroprostor 2	923	1149	80,3
Makroprostor 3	3743	9039	41,4
Makroprostor 4	532	545	97,6
Makroprostor 5	0	199	0
UKUPNO:	5551	11285	49,2

Što se tiče zastupljenosti načina izrade sekcija iz tablice 6. se vidi da je najzastupljeniji način izrada sekcija u položaju obrnutom od položaja montaže na navozu, metoda 1, sa preko 50% od ukupnih zakrivljenih sekcija. Podlaganje na visinama, metoda 2, i izrada na kolijevkama, metoda 3, su podjednako zastupljene sa nešto više od dvadesetak posto od ukupno zakrivljenih sekcija.

Tablica 6. Postotak zastupljenosti metoda izrade zakrivljenih sekcija po makroprostorima za gradnju 476

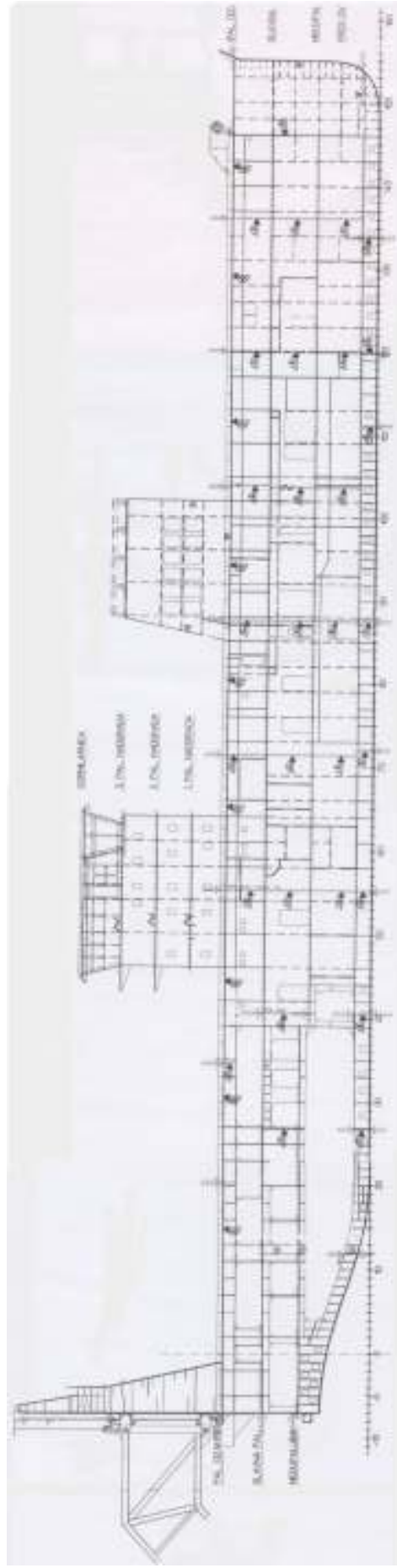
	Metoda 1 [t]	Metoda 2 [t]	Metoda 3 [t]
Makroprostor 1	353	0	0
Makroprostor 2	656	135	132
Makroprostor 3	1546	1180	1017
Makroprostor 4	486	24	22
Makroprostor 5	0	0	0
UKUPNO:	3041	1339	1171
Postotak:	54,8%	24,1%	21,1%

2.2.2. Analiza zakrivljenih sekcija broda jaružara, gradnja 480

Novogradnja broj 480 je brod za produbljivanje morskoga dna i prokopavanja (brod – jaružar), eng. dredger. Slikom 4 prikazan je uzdužni presjek broda, a slikom 5 podjela na makroprostore.

Glavne dimenzije broda su:

$L_{OA} = 138,50 \text{ m}$	- duljina preko svega
$L_{PP} = 110,50 \text{ m}$	- duljina između okomica
$B = 26,00 \text{ m}$	- širina
$D = 8,80 \text{ m}$	- visina do gornje palube
$T = 5,50 \text{ m}$	- gaz



Slika 4. Uzdužni presjek broda jaružara



Slika 5. Podjela gradnje 480 na makroprostore

Makroprostor 1 – područje krme

Područje krme sastoji se od 9 grupa i 19 sekcija. Vrlo specifična konstrukcija samoga broda, koji se može shvatiti i kao plovna radna jedinica, daje i vrlo specifične sekcije koje nisu uobičajene za klasične brodske forme. Naime krma broda je otvorena u obliku slova W i u sredini se nalazi kopač koji je sastavljen od svojih grupa i sekcija koje također spadaju u makroprostor 1 ali se analiziraju posebno. Za taj segment broda, kopač, potrebna je posebna montažna radionica koja se nalazi na navozu i potrebni su posebni postupci za njegovu montažu u brod. Sam kopač nema u sebi zakrivljene sekcije tako da neće biti posebno govora o njemu u ovom radu.

Analizom strukture vidi se da samo nešto više od 50% krmenih sekcija spada u zakrivljene što govori o specifičnosti konstrukcije broda. Te grupe odnose se na područja koji su bliže dnu broda i u predjelu gdje oplata boka prelazi iz bočnog dijela u zrcalo, pa imamo neku vrstu vertikalnog uzvoja.

Grupe 101, 103 i 109 izrađuju se metodom 1 tj. nisu u položaju za montažu i montira se prvo baza i struktura a na kraju se sekcije oblažu vanjskom oplatom koja je zakrivljena.

Grupe 102 i 106 izrađuju se na kolijevkama metodom 3.

Sve sekcije ove grupe izrađuju se u radionicama P2 i P3 te se uz pomoć vanjske dizalice uz navoz i parternog transportera 'cometo' transportiraju na antikorozivnu zaštitu i kasnije na montažu. Nije predviđeno ukрупnjavanje niti za jednu sekciju ovog makroprostora.

Tablica 7. Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 1 gradnje 480

BROJ GRUPE	NAZIV GRUPE	REBRO	NETTO		NETTO
			MASA SEKCIJA (t)		MASA GRUPE (t)
			1	2	
101	KRMA - DOLJE	R -7 - 11	56	56	112
102	KRMA - DVODNO	R 12 - 26	29	29	58
103	KRMA - DVODNO	R 27 - 40	30	30	60
106	KRMA - MEĐUPALUBA	R 12 - 26	16	19	35
109	KRMA - GLAVNA PALUBA	R -7 - 11	41	42	83
				UKUPNO:	348

$m_{ZAK\ SEKCIJA} = 348\ t$ - masa zakrivljenih sekcija

$m_{GRUPE\ UKUPNO} = 687\ t$ - ukupna masa grupe

$k = \frac{m_{ZAK_SEKCIJA}}{m_{GRUPE}} \cdot 100\% = 50,6\%$ - postotak mase zakrivljenih sekcija u makroprostoru

$n_{ZAK\ SEKCIJA} = 10$ - broj zakrivljenih sekcija u grupi

$n_{UKUPNO\ SEKCIJA} = 19$ - ukupni broj sekcija u grupi

Makroprostor 2 i 3:

Područje strojarnice ne sadrži niti jednu zakrivljenu sekciju u niti jednoj grupi. Postoji 15 grupa u makroprostoru 2 ukupne mase 1328 tona. To su sekcije dvodna, međupalube i glavne palube. Uzvoj ove gradnje jest zakrivljen ali ne spada u zakrivljene sekcije već u ravne. Naime uzvoj je trokutastoga oblika sa zaobljenim vrhovima i on se montira na kraju panel linije i za njega nije potrebna niti jedna od tri navedene metode predmontaže jer se radi samo o nekoliko limova koji nisu velikih dimenzija i koji su savijeni samo u krajevima. Postoje još sekcije paluba i međupaluba koje su također u potpunosti ravne što i priliči takvim strukturama.

Teretni prostor je jednostavne pravokutne konstrukcije i on se sastoji od dvadesetak sekcija raspoređenih u 8 grupa koje su također ravne i koje ne spadaju u zakrivljene sekcije. Ukupna masa ovog makroprostora je 670 tona i odnosi se na palubu dizalice i na mosni nosač kopača.

Makroprostor 4 – područje pramca

Ukupno ima 40 sekcija podijeljenih u 23 grupe. Grupe se odnose na dvodno pramca i na sekcije koje obuhvaćaju pramac kod međupalube, glavne palube i palube dizalice te na sekcije okretnog pramca.

Predio pramca kod ovog broda nešto je kompliciraniji nego kod klasičnih brodova. Konstrukcija jednog dijela pramca omogućuje da se on zakreće oko y-osi u xz ravnini broda i na taj način manipulira sa pilonima. Dok je brod u plovidbi piloni se nalaze na palubi u horizontalnom položaju a kada jer brod u radnoj poziciji onda su piloni u vertikalnom položaju zabijenu u morsko dno. Jedan dio tog okretnog pramca sastoji se od zakrivljenih sekcija, grupe 420 i 422 a također postoje i kolica pilona koja su isto tako specifične ali spadaju u ravne sekcije (grupe 413 – 419).

Sve spomenute sekcije izrađuju se metodom 1, tj. sukcesivnom gradnjom u položaju koji nije u položaju za montažu na navozu, osim sekcija grupe 408 koja se izrađuje na kolijevkama tj. metodom 3.

Mjesto izrade ovih sekcija su radionice P2 i P3. Nakon što su izrađene transportiraju se na područje ukupnjavanja dizalicama koje su uz radionicu nosivosti 150 tona.

$m_{ZAK\ SEKCIJA} = 715\ t$ - masa zakrivljenih sekcija

$m_{GRUPE\ UKUPNO} = 1482\ t$ - ukupna masa grupe

$k = \frac{m_{ZAK_SEKCIJA}}{m_{GRUPE}} \cdot 100\% = 48,2\%$ - postotak mase zakrivljenih sekcija u makroprostoru

$n_{ZAK\ SEKCIJA} = 28$ - broj zakrivljenih sekcija u grupi

$n_{UKUPNO\ SEKCIJA} = 43$ - ukupni broj sekcija u grupi

Tablica 8 . Prikaz zakrivljenih sekcija makroprostora 4 gradnje 480

BROJ GRUPE	NAZIV GRUPE	REBRA	NETTO MASA					SEKCIJA					NETTO MASA GRUPE (t)				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
401	DVODNO - PRAMAC	R 120 - 133	45	37	7												89
402	DVODNO - PRAMAC	R 134 - 157	72	58													130
404	PRAMAC - MEĐUPALUBA	R 121 - 136	35	22													57
405	PRAMAC - MEĐUPALUBA	R 137 - 152	22	20													42
406	PRAMAC - GLAVNA PALUBA	R 121 - 136	43	29													72
407	PRAMAC - GLAVNA PALUBA	R 137 - 152	27	26													53
408	PRAMAC - GLAVNA PALUBA	R 153 - 160	65														65
409	PRAMAC - PALUBA DIZALICE	R 147 - 157	29	2													31
410	PRAMAC - PALUBA DIZALICE	R 137 - 154	31	21	1	3											56
411	PRAMAC - PALUBA DIZALICE	R 121 - 136	42	23	1	1	9	1									77
420	OKRETNi PRAMAC - DONJI DIO	R 147 - 152	19														19
422	OKRETNi PRAMAC - STRUKTURA	R 153 - 158	24														24
UKUPNO:													715				

Makroprostor 5

Područje nadgrađa sastoji se isključivo od ravnih sekcija. U 5 grupa postoji 5 sekcija, a to su: 3 sekcije palube nadgrađa, kormilarnica i dimnjak. Ukupna masa je 139 tona.

Gradnja 480 (brod – jaružar) je brod koji ne podliježe rigoroznim zahtjevima za brzinom i zbog toga njegova forma nije hidrodinamički oblikovana i samim time nije zahtjevna ni konstrukcijski ni tehnološki. Takvoj vrsti broda primarno je izvršavanje zadataka koji nisu vezani za plovidbu i zbog toga se može reći da je to radna stanica a ne klasični brod. Zbog toga brod jaružar nema veliki broj zakrivljenih sekcija, tablica 9.

Tablica 9. Prikaz postotka zakrivljenih sekcija za gradnju 480

	Masa Zakrivljenih [t]	Ukupna masa [t]	Postotak zakrivljenih
Makroprostor 1	348	687	50,7
Makroprostor 2	0	1328	0,0
Makroprostor 3	0	670	0,0
Makroprostor 4	715	1482	48,2
Makroprostor 5	0	139	0
UKUPNO:	1063	4306	24,7

Vidi se da nešto manje od jedne četvrtine ukupne konstrukcije broda čine zakrivljene sekcije. Još ako se uzme u obzir i kopač koji ima težinu od 540 tona taj postotak još pada.

Kod ove gradnje metoda 2 tj. podlaganje na visinama nije zastupljena niti u jednoj sekciji dok je izrada na kolijevkama metodom 3 sa svojih 15% čine manji dio same proizvodnje zakrivljenih sekcija. Sukcesivna izrada sekcija tj. metoda 1 dominira sa 85% mase svih zakrivljenih sekcija što prikazuje tablica 10.

Tablica 10. Postotak zastupljenosti metoda izrade zakrivljenih sekcija po makroprostorima za gradnju 480

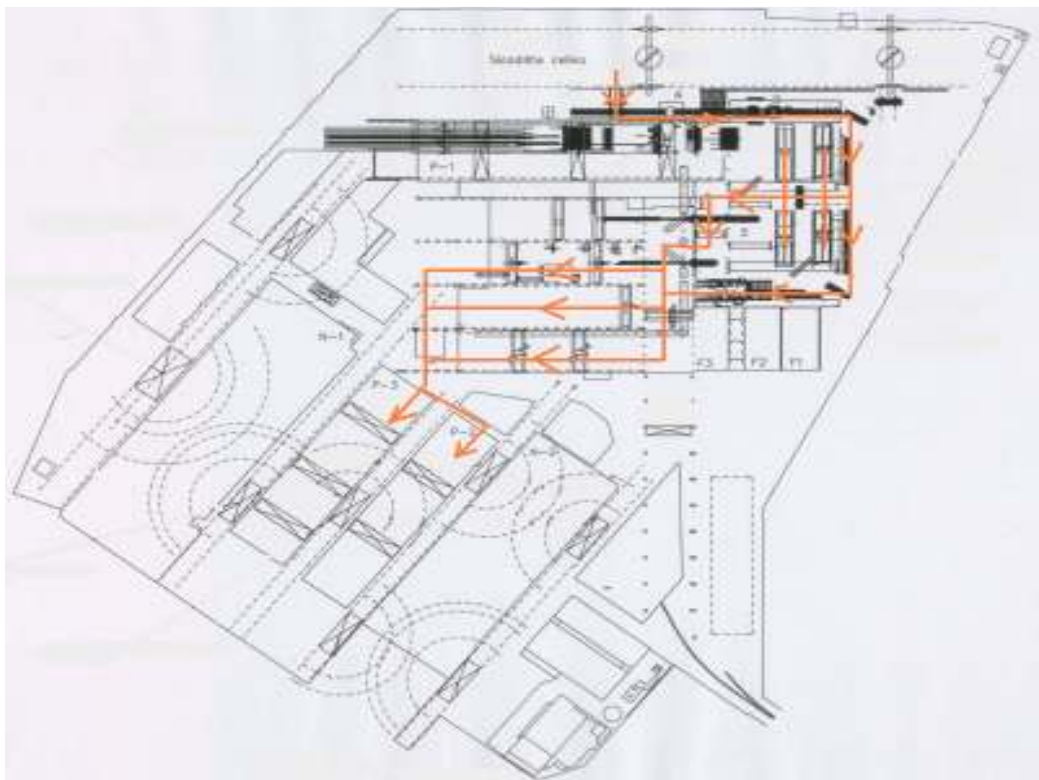
	Metoda 1 (t)	Metoda 2 (t)	Metoda 3 (t)
Makroprostor 1	255	0	93
Makroprostor 2	0	0	0
Makroprostor 3	0	0	0
Makroprostor 4	650	0	65
Makroprostor 5	0	0	0
UKUPNO:	905	0	158
Postotak:	85,1	0,0	14,9

3. TOK MATERIJALA U BRODOGRADLIŠTU

Prvi korak za dobivanje elemenata od kojih je sastavljena sekcija je izrada tehničke dokumentacije, odnosno: planova, projekata, radioničkih nacrti i specifikacije materijala. Nakon što se definiraju sve pozicije limova i profila i nakon što se specifikira materijal, kreće narudžba limova i profila koji se skladište u skladištu crne metalurgije i time počinje njihov tok kroz brodograđevne radionice i procese. Slika čitavog toka materijala te tlocrt brodogradilišta prikazan je na slici 6 na sljedećoj stranici.

Valjani čelik za izradu limova i profila proizvodi se u čeličanama a sastav čelika može biti različit i ovisi o klasifikacijskim društvima pod čijem su nadzoru. Položaj skladišta crne metalurgije omogućava dopremu materijala putem željezničkog transporta, cestovnim putem ili morskim putem. Materijal mora ulaziti u radionicu strojne obrade kompletan i složen po tehnološkom redosljedu montaže i procesu obrade. Limovi se skladište u pakete ili kupove koji mogu biti složeni po dimenzijama limova ili prema tehnološkim skupinama i novogradnjama. Za manipulaciju limova koriste se magnetne dizalice koje osiguravaju brz i uspješan transport bez oštećenja površine lima. Profili se uskladištavaju najčešće u svežnjevima tj. onako kako su dopremljeni iz čeličane a odlažu se na zato posebno pripremljenu podlogu. U jednom svežnju može se nalaziti 15 do 20 komada profila jednakih dimnezija međusobno povezanih žicom.

U međuvremenu ured numeričkog trasiranja trasira svaki lim i profil tj. radi nesting. Limovi i profili se kroje u računalnom programu. Podaci spremljeni u memoriju računala šalju naredbu strojevima za rezanje limova i profila iz kojih se izrezuju kasnije elementi ili se režu limovi po mjeri kako zahtjeva radionički nacrt.



Slika 6. Skica toka materijala zakrivljenih sekcija u brodogradilištu

Ulaz limova u radionicu obrade nije odvojen od ulaza profila. Koriste istu valjčastu stazu, slika 7., s time da se ulaz profila organizira tako da profili ulaze kao grupa širine valjčaste staze.



Slika 7. Valjčasta staza na ulazu u predobradu

Priprema limova i profila za obradu ili tzv. predobrada limova i profila može se podijeliti na tri osnovne faze: ravnanje limova prikazano na slici 8., čišćenje limova i profila (zrnčenje) te temeljno bojanje i markiranje limova i profila. Sve tri radnje obavljaju se u radionici predobrade koja je smještena između skladišta crne metalurgije i radionice odbrade. Profili ne prolaze operaciju ravnanja.



Slika 8. Valjci u predobradi

Radionica za obradu profila i limova podijeljena je u nekoliko tokova. Jedan tok odnosi se na rezanje i trasiranje limova na plazma rezačicama i na strojevima za rezanje sa acetilenom i kisikom. U brodogradilištu hala za rezanje opremljena je sa 3 plazma rezačice i jednom oxy-acetilenskom rezačicom za limove.

Toplinsko rezanje mlazom plazme obuhvaća sve veći obim obrade limova manjih debljina i spada u novije tehnologije rezanja čelika uopće. U području svjetlosnog luka pomoću mlaznice se dovode jednoatomni (argon) ili dvoatomni (vodik, dušik, kisik) plinovi, gdje se ioniziraju utroškom znatne energije svjetlosnog luka. Tako ionizirani plinovi zovu se plazma (svjetlosnog luka) koji se mogu sastojati od neutralnih molekula i atoma kao i od pozitivno ili negativno nabijenih čestica (ioni i elektroni). Radi se o atomima kod kojih elektroni zbog dovedene energije prelaze iz prvobitne putanje u putanju udaljeniju od jezgre. Pri tom dolazi do jakog zagrijavanja plinova koji višestruko povećavaju svoj volumen i istječu iz prikladne mlaznice brzinom koja je jako blizu brzine svjetlosti. Nadolaženjem mlaza plazme na relativno hladni metal dolazi do procesa oslobađanja energije s razvijanjem temperature od dvadesetak tisuća kelvina. Metal će se taliti na tom mjestu, a kinetičkom energijom plina rastalina će biti odgurnuta od mjesta taljenja. Plazma rezačice lako su prepoznatljive, slika 9., jer cijelu operaciju rezanja i trasiranja obavlja u bazenu pod vodom zbog buke i štetnosti ultraljubičastih zraka za ljudski vid. Debljine koje se mogu rezati plazmom su do 20 - 25 mm što čini u brodogradnji veliki postotak limova.



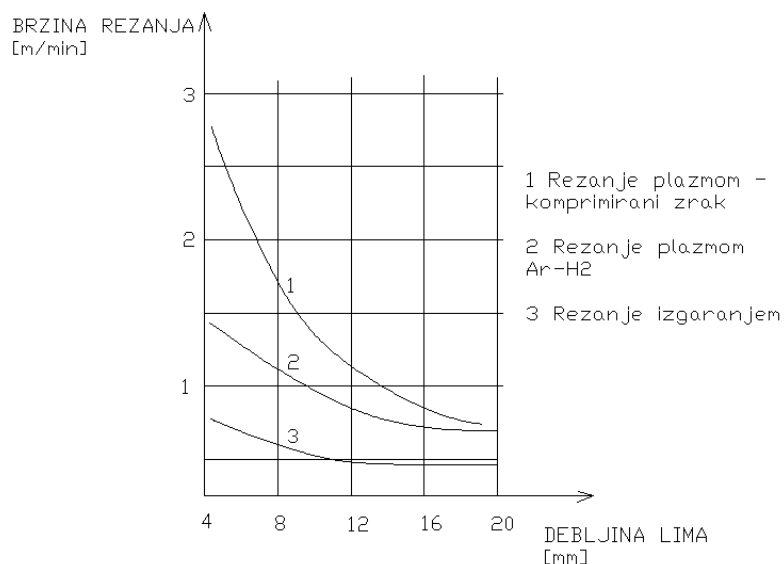
Slika 9. Stroj za rezanje limova plazmom

Drugi način topliskog rezanja koji je zastupljen u brodogradilištu jest rezanje mlazom kisika tj. izgaranjem. Stroj za rezanje limova acetilenom i kisikom (oxy) prikazan je na slici 10. Rezanje dijelimo u 3 faze. Prva faza jest dovođenje topline dok materijal ne postigne temperaturu zapaljenja. U tu svrhu se najčešće koristi smjesa acetilena i kisika jer acetilen ima najveću brzinu izgaranja. Druga faza je kemijski proces oksidacije. Kisikom visoke čistoće spaljuje se oksid a o čistoći kisika zavisi kvaliteta reza i brzina rezanja. Kada je brzina pomicanja mlaza kisika uzduž reza veća od brzine oksidiranja dolazi do neurednog ili nepotpunog reza. U posljednjoj fazi rezanja mlazom kisika se izbacuje produkt izgaranja iz razdjelnog raspora kinetičkom energijom.



Slika 10. Stroj za rezanje limova acetilenom i kisikom (oxy)

Kod debljina limova do 20 mm mogu se postići mnogostruko veće brzine rezanja plazmom od rezanja izgaranjem kao što to prikazuje slika 11. i upravo to je razlog zašto je plazma preuzela primat nad kisikom.



Slika 11. Grafički prikaz brzine rezanja u ovisnosti o debljini lima

Nakon završenog rezanja izrezani se materijal sortira, gdje se odvaja otpad, a elementi se odvajaju prema pripadnosti pojedinim sekcijama. Sortirani materijal se valjčastom stazom usmjerava prema savijanju i oblikovanju, maloj predmontaži i prema predmontažnim halama.

Drugi tok koji ulazi u radionicu za obradu jest namjenjen za profile. Oni ulaze valjčastom stazom i režu se robotskom rukom, slika 12. U brodogradilištu postoje dvije robotske ruke koje koriste toplinski način rezanja. Robotska ruka koja je na otvorenom, tj. bez kućišta, koristi acetilen i kisik za rezanje izgaranjem i jedna robotska ruka u zaštićenom prostoru koja koristi toplinski način rezanja taljenjem tj. plazma rezanje.

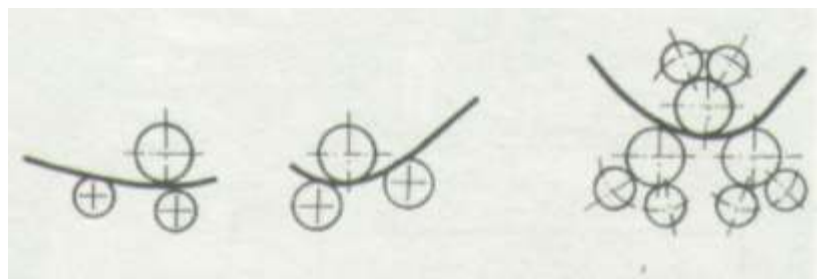


Slika 12. Robotska ruka za rezanje acetilenom i kisikom (oxy) desno i kućište plazma robotske ruke lijevo

Odrezani limovi i profili idu svojim daljnjim tokom, ovisno o poziciji i mogućoj dodatnoj obradi tj. oblikovanju. Jedan dio limova i profila direktno ide u radionicu predmontaže za izradu panela (panel linija), jedan dio ide u malu predmontažu gdje se sklapaju manji sklopovi i sekcije manjih masa. Jedan dio ide u druge predmontažne radionice dok jedan manji dio ide u daljnju obradu tj. na savijanje i oblikovanje.

Sljedeći korak je oblikovanje i savijanje limova i profila. Danas se uglavnom vrši hladno oblikovanje lima, osim dijelova sa jakim zakrivljenjima, pri čemu se upotrebljava lokalno zagrijavanje plinskim plamenikom. Limovi se oblikuju uglavnom na dvjema vrstama strojeva i to na valjcima i na prešama. Valjci za oblikovanje limova mogu biti različitih izvedbi i različitog

kapaciteta. Najčešće su to 3 ili 4 valjka s različitim mogućnostima podešavanja po visini i u poprečnom smjeru kao što je prikazano na slici 13.



Slika 13. Shematski prikaz rasporeda valjaka za savijanje limova

Ovi strojevi su naročito prikladni za savijanje limova čija je ploha dio plašta ili stošca. Ako se lim želi oblikovati cilindrično, valjanje se izvodi po uzdužnim izvodnicama, a u slučaju drugačijeg oblika, valja se po kosim izvodnicama. Lim se ubacuje između valjaka, a s njihovim pokretanjem započinje valjanje limova. S gornjim valjkom vrši se potreban pritisak na lim kako bi se dobilo potrebno zakrivljenje, a ako se trebaju saviti konačni oblici, gornji se valjak postavlja prema donjim valjcima pod određenim kutem. Kontrola savijanja limova na valjku vrši se pomoću drvenih šablona (vizira), prikazana na slici 14, a ponekad je nakon valjanja potrebno limove doraditi na preši.



Slika 14. Kontrola zakrivljenosti drvenim šablonama

Preše za oblikovanje su jaki strojevi pomoću kojih se mogu formirati limovi različitih debljina i najrazličitijih oblika. Upotrebljava se G-preša prikazna na slici 15. i H-preša. Okvirne ili H-preše imaju tešku i masivnu konstrukciju koja omogućuje vrlo veliku točnost pri radu, dok hidraulički sistem omogućuje vrlo točno upravljanje i upotrebu maksimalne snage u bilo kojem položaju. Konvecionalna G-preša jedan je od vrlo često korištenih strojeva, ali u usporedbi sa okvirnim prešama pokazuju određene nedostatke, jer su stol i glava tih preša ograničeno pokretljivi. Prema predviđenom obliku lima na glavu preše montira se gornji alat (utiskivač), na stol donji alat (matrica), a njihovim međusobnim djelovanjem na lim postiže se zahtjevani oblik. Izmjenom gornjeg i donjeg alata te micanjem limova ispod preše mogu se dobiti najrazličitiji oblici i forme limova. Prije savijanja na limove se ucrtavaju linije savijanja, čime se znatno olakšava rad, a kontrola savijenih limova vrši se pomoću savijenih letvica te ravnih i prostornih šablona.



Slika 15. G preša za oblikovanje limova

Profili se također oblikuju isključivo hladnim postupkom koje se obavlja pomoću preša za savijanje profila. Postoje različite izvedbe preša za savijanje profila, međutim, načelno se kod svih strojeva profil stavlja na dva oslonca, koji se međusobno mogu podešavati, a sa suprotne strane tlači se sa stapom preše. Ta metoda je poznata pod nazivom metoda uzdužnog pomaka, a preša na kojoj se vrši savijanje prikazana je na slici 16. Savijanje se kontrolira pomoću čelične šablone, koja se izrađuje prema liniji rebara ili prema odgovarajućem nacrtu. Uobičajeno je da se lijevi i desni profil savijaju istodobno, što se postiže tako da se lijevi i desni profil međusobno čvrsto stegnu, a zaim se provlače kroz prešu za savijanje. Prilikom provlačenja krajevi profila pridržavaju se pomoću posebnih kolica, a same preše obično su izvedene tako da mogu savijati profile u jednom i drugom smjeru.



Slika 16. Preša za savijanje profila metodom uzdužnog pomaka

Obrađeni limovi i profili odlažu se u međuskladište, koje je smješteno između radionice obrade i radionica predmontaže. Iz tog međuskladišta dizalicama se u paletama ili pomoću parternog transportera dostavlja materijal u radionice predmontaže gdje započinje izrada sekcija. Sama izrada sekcija odvija se u nekoliko predmontažnih radionica. Pa tako postoji u brodogradilištu predmontažna radionica P1 za ravne plošne sekcije, zatim dvije radionice P2 i P3 u kojima se obavlja predmontaža velikih zakrivljenih i ravnih sekcija. Hale imaju krovni otvor sa pomičnim segmentima kojim je osiguran pristup vanjskim dizalicama, a također imaju i radni prostor na otvorenome od kuda se gotove sekcije morskim putem odnose na bojanje ili međuskladište. Postoji i predmontaža P4 koja je na otvorenome uz samu obalu a opslužuje je nekoliko građevinskih dizalica od desetak tona nosivosti i jedna velika portalna dizalica nosivosti 100 t. Odvoz gotovih sekcija obavlja se plovnom dizalicom. Smještaj svih hala i navoza vidi se u tlocrtu brodogradilišta na slici 6.

Sljedeći korak u toku materijala je ukрупnjavanje koje se obavlja uz navoze gdje postoji mogućnost korištenja dizalica velikih nosivosti. To su prvenstveno prostori između navoza i mora ili hala gdje se ukрупnjavaju i skladište velike ukрупnjeme sekcije. Ukрупnjavanje služi za to da bi se smanjio broj dizanja na navoz i da bi se skratilo vrijeme montaže trupa na navozu. U

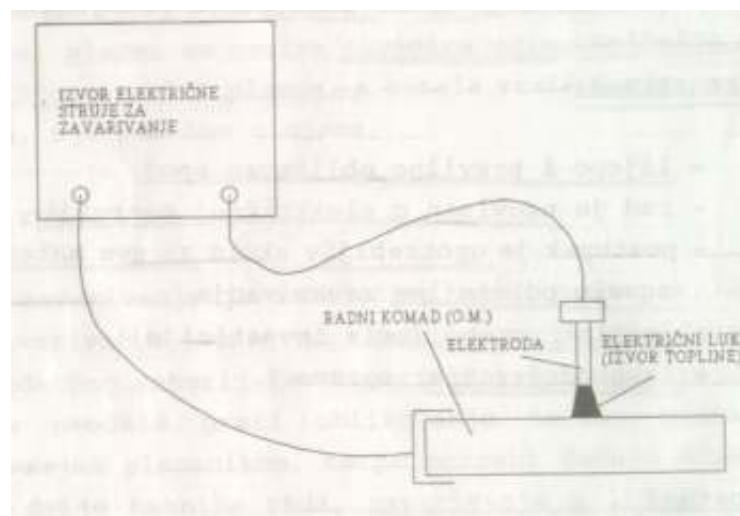
procesu ukрупnjavanja također se izvode i operacije uranjenog opremanja, (montaža cjevovoda, ljestava, itd.). Nakon ukрупnjavanja sekcije idu na antikorozivnu zaštitu i bojanje te ciklus zavšavaju montažom na navozu.

4. TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA I PRIPREME SPOJEVA

Zavarivanje po definiciji je spajanje ili prevlačenje osnovnog materijala primjenom topline ili pritiska ili uz oboje sa ili bez dodatnog materijala. Zona spoja za vrijeme zavarivanja dovedena je u tekuće ili plastično stanje, a svojstva spoja zavise o vrsti osnovnog i dodatnog materijala te o postupku zavarivanja.

Prilikom izrade sekcija brodogradilište koristi tri načina zavarivanja. To su sve elektrolučni načini zavarivanja, a to su: ručno-elektrolučno (REL), elektrolučno pod zaštitom aktivnog plina (MAG) i elektrolučno po praškom (EPP). U daljnjem tekstu za označavanje metode zavarivanja koristiti će se samo kratice: REL, MAG i EPP.

Električni luk se uspostavlja između dvije elektrode, a to su kod zavarivanja elektroda i radni komad, slika 17.

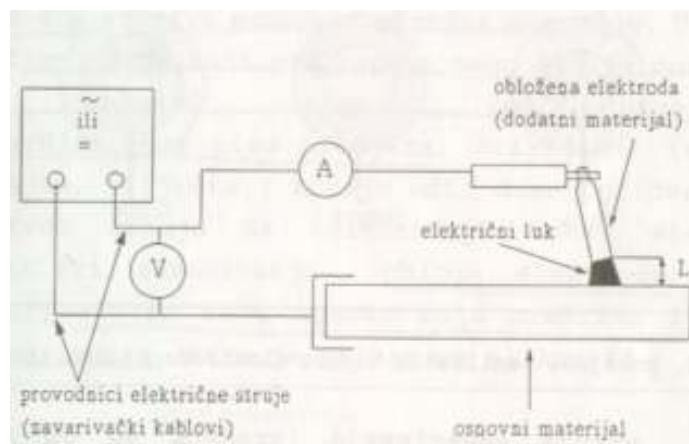


Slika 17. Principijelna shema elektrolučnog zavarivanja

Električni luk predstavlja stabilno električno pražnjenje, odnosno usmjereno kretanje elektrona kroz ioniziran plin. Plin je ioniziran kada u njemu postoje elektroni i ioni koji usmjerenim kretanjem omogućavaju protok struje. Kod elektrolučnog zavarivanja električni luk uspostavlja se kratkim spojem, odnosno dodiranjem elektrode s osnovnim materijalom. Uslijed mikroskopskih neravnina na dodirnim površinama elektrode i osnovnog materijala uspostavlja se protok struje kroz izuzetno malu kontaktnu površinu, pri čemu je gustoća struje vrlo velika, te se osnovni materijal i dodatni materijal (elektroda) tope gotovo trenutačno, a djelomično čak i isparavaju. Nakon nekoliko trenutaka elektroda se odvaja od osnovnog materijala, a tada djelovanjem jakog električnog polja, stvorenog naponom praznog hoda (izvor struje je uključen, ali strujni krug više nije zatvoren), atomi nastalog metalnog isparavanja gube svoje elektrone koje privlači anoda (pozitivna elektroda), dok preostale dijelove atoma, odnosno novonastale pozitivne ione privlači katoda (negativna elektroda). Istovremeno dolazi i do termičke ionizacije, kada katoda počinje velikom brzinom emitirati elektrone prema anodi. Emitirani elektroni sudaraju se sa okolnim atomima i molekulama, uslijed čega dolazi do oslobađanja novih elektrona i nastanka novih iona, čije usmjereno kretanje održava električni luk. Za to vrijeme elektroda se odmiče od osnovnog materijala na dovoljnu udaljenost, pogodnu za zavarivanje, čime je proces uspostavljanja električnog luka u potpunosti završen i uspostavljeno je stabilno stanje u krugu koje sačinjavaju izvor struje, elektroda, električni luk i osnovni materijal. Osnovni parametri elektrolučnog zavarivanja su: napon struje, jakost struje i dužina luka. Razlikuju se pri različitim vrstama električnih lukova, bilo da su u slobodnoj ili zaštitnoj atmosferi, priključeni na izmjeničnu ili istosmjernu struju, ili da su elektrode taljive ili netaljive.

4.1. Ručno – elektrolučno zavarivanje (REL)

Kod ručnog-elektrolučnog (REL) izvor struje može biti istosmjerni ili izmjenični, s time da kod istosmjernog izvora elektroda može biti spojena ili pozitivno (+) ili negativno (-). Principijelna shema REL zavarivanja prikazana je na slici 18.



Slika 18. Principijelna shema REL zavarivanja

Najčešće se primjenjuju obložene elektrode tj. elektrode koje imaju metalnu jezgru u obliku žice na koju je nanesa metalna obloga. Metalna jezgra je šipka ili žica izrađena iz materijala prema namjeni. Na metalnu jezgru nanesa je obloga prešanjem ili umakanjem. Vrsta i kvaliteta žice za metalnu jezgru obložene elektrode ovisi o tome kakva se vrsta elektrode proizvodi, na primjer za zavarivanje nelegiranih čelika približno je istog sastava kao i materijal koji se zavaruje.

Obloga elektrode u procesu zavarivanja ima tri funkcije:

1. električna: Električna funkcija obloge sastoji se u tome da osigura dobro uspostavljanje luka i stabilan električni luk. U tu svrhu dodaju se spojevi natrija i kalija u oblogu koji kod taljenja stvaraju plinove s velikom sposobnošću ionizacije i na taj način dobru provodljivost električnoj struji između vrha elektrode i radnog komada.

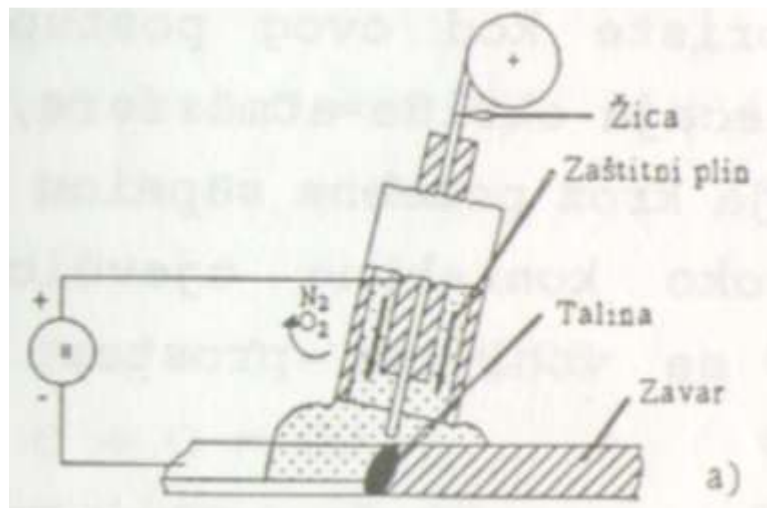
2. fizikalna: Fizikalna funkcija obloge sastoji se u omogućavanju i olakšavanju zavarivanja u prisilnom položaju i zaštiti kapljice u prijelazu i taline zavara od prenaplog hlađenja. Potreban je povećani viskozitet troske koji omogućava zavarivanje u prislinim položajima. Povećanjem bazičnosti u oblozi povećava se i viskozitet troske dok povećavanjem kiselosti viskozitet se smanjuje. Druga fizikalna funkcija obloge je ta da zaštiti talinu metala od štetnih plinova iz zraka (dušika, vodik i kisik). Za vrijeme prolaza kapljice metala kroz električni luk troska se omota oko kapi i na taj način je štiti od štetnih plinova. Kada se stvori talina metala istodobno se stvara i troska koja pliva na talini i štiti je od štetnih plinova i osigurava polagano hlađenje.
3. metalurška: Metalurška funkcija obloge sastoji se u njezinu metalurškom djelovanju na zavareni spoj u toku procesa zavarivanja. Razlikuju se tri načina djelovanja. Prvi način je legiranje, tj. nadoknađivanje legirajućih elemenata koji izgaraju u toku procesa zavarivanja. Drugi način je otplinjavanje koje podrazumijeva uklanjanje kisika i vodika iz taline zavara i na taj način plinovi prelaze u trosku koja se uklanja. Treći način djelovanja je rafinacija, tj. uklanjanje sumpora i fosfora iz tline zavara.

Kod REL zavarivanja operater bira samo jedan parametar na uređaju za zavarivanje a to je jakost struje. Jakost struje ovisi o promjeru elektrode koja se koristi u radu a to ovisi o debljini radnih komada, vrsti žice od koje je načinjena elektroda te o položaju zavarivanja. Proizvođač elektroda daje upute o preporučenim veličinama jakosti struje, ali kao grubo pravilo uzima se podatak da pri zavarivanju običnim obloženim elektrodama jakost struje iznosi 30 do 40 A za svaki milimetar promjera jezgre. Napon je definirana veličina i nije promjenjiva varijabla a iznosi od 20 do 40 V. Duljinu luka određuju napon i jakost struje ovisno o promjeru elektrode i vrsti obloge.

U procesu predmontaže sekcija REL metoda se koristi uglavnom za privarivanje i rijetko kada za zavarivanje spojeva. Privaruju se sve vrste spojeva i u svim položajima.

4.2. Elektrolučno zavarivanje pod zaštitnom atmosferom (MAG)

Kod ovog postupka zavarivanja električni se luk održava između taljive, kontinuirane elektrode u obliku žice, u pravilu spojene na plus pol istosmjernog izvora struje. Proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koji osigurava aktivni plin - ugljični dioksid (CO_2), slika 19.



Slika 19. Principijelna shema MAG zavarivanja

Pogonski sistem dodaje žicu konstantnom brzinom kroz cijevni paket i pištolj u električni luk. Žica je istovremeno elektroda i dodatni materijal, tj. njenim taljenjem popunjava se pripremljeni žljeb. postupak može biti poluautomatski (dodavanje žice mehanizirano a vođenje pištolja ručno) ili automatski potpuno mehaniziran. Kada se zavarivanje vrši na udaljenosti većoj od 5 m od izvora struje obično se primjenjuje dodatni pogon za dodavanje žice smješten u samom pištolju tako zvani push-pull sistem. Primjena takvog sistema sprječava gužvanje žice unutar cijevnog vodiča.

Zaštitni plin koji se koristi kod ovog postupka štite rastaljeni materijal od utjecaja okolne atmosfere., a dovodi se na mjesto zavarivanja kroz posebnu sapnicu na pištolju, koja se nalazi ko kontaktne cijevčice. Ionizacijom plina osigurava se vodljivi prostor za održavanje električnog luka.

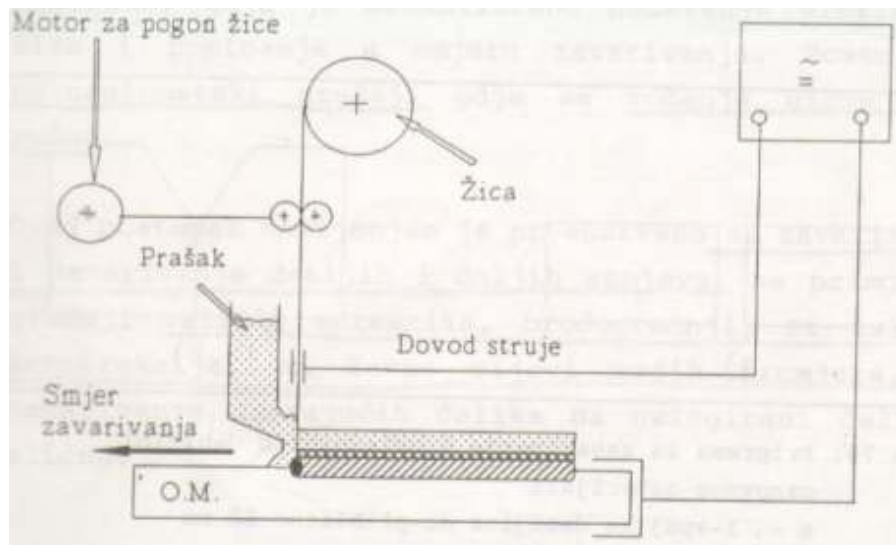
Najčešće se koriste pune žice promjera od 0,6 do 2,4 mm. Žice od čeličnih materijala su pobakrene ili poniklane radi boljeg električnog kontakta i zaštite od korozije. Površina žice mora

biti glatka, dimenzija vrlo točna i treba biti uredno namotana na kolutove koji se postavljaju u uređaj za dodavanje.

U procesu predmontaže sekcija MAG-om se zavaruju sve vrste spojeva (osim sučelnog I spoja) u svim položajima, iako se nadglavno zavarivanje uvijek pokušava izbjeći jer je kvaliteta takvog zavara manja nego kod drugih položaja. Također je i manji broj atestiranih zavarivača koji mogu zavarivati nadglavno.

4.3. Elektrolučno zavarivanje pod praškom (EPP)

Zavarivanje pod praškom također se ubraja u elektrolučne postupke. Električni luk se održava između kontinuirane taljive elektrode (najčešće u obliku žice) i radnog komada, slika 20. Električni luk se u toku procesa ne vidi jer je prekriven slojem praška i troske koja nastaje taljenjem dijela tog praška. Prašak štiti rastaljeni metal od djelovanja okolne atmosfere, sprječava naglo hlađenje zavara i oblikuje zavar. Također on ima utjecaj i na kemijski sastav metala zavara.



Slika 20. Principijelna shema EPP zavarivanja

Najčešće se primjenjuje mehanizirana varijanta postupka, gdje je mehanizirano dodavanje elektrodne žice i pomicanje u smjeru zavarivanja. postoje i poluautomatski uređaji gdje se vođenje glave vrši ručno.

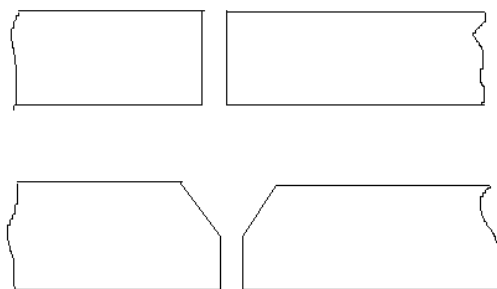
EPP postupak namjenjen je za zavarivanje i navarivanje debljih i duljih spojeva. Smatra se da je neekonomična primjena ovog postupka za zavarivanje kraćih od 0,5 m te za limove tanje od 10 mm. Postupak se primjenjuje za zavarivanje u položenom položaju. U ostalim položajima je postupak teško primjenjiv jer zbog padanja praška nema zaštite mjesta zavarivanja.

Elektroda je žica punog presjeka, promjera od 2 do 6 mm. Za zavarivanje čelika elektroda je u načelu pobakrena.

Postoje različite vrste zaštitnih prašaka a izbor ovisi o vrsti osnovnog materijala, debljini lima odnosno vrsti spoja i parametrima zavarivanja. Praškovi se razlikuju prema kemijskom sastavu, načinu proizvodnje, obliku i veličini zrna. Po kemijskom sastavu su vrlo slični sastavu obloge kod obloženih elektroda i imaju iste funkcije.

Nedostaci ovog načina zavarivanja je osiguranje kvalitetnog početka i kraja zavares koji se osiguravaju zavarivanjem ulaznih i izlaznih pločica koje se nakon zavarivanja odstranjuju sa konstrukcije.

Ovom metodom zavaruju se uglavnom sučeljni I spojevi i sučeljni Y spojevi prikazani slikom 21. Također EPP se koristi i za popunu žljeba čiji je korijen zavares zavaren MAG-om. U izradi ravnih sekcija svi limovi panela se zavaruju EPP-om, a kod zakrivljenih panela koristi se tamo gdje nema velike zakrivljenosti limova.



Slika 21. Skica sučelnog I spoja i sučelnog Y spoja

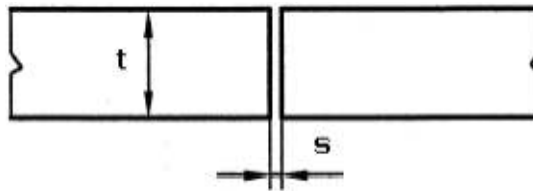
4.4. Priprema spoja za zavarivanje

Standardom se propisuju postupci zavarivanja, priprema spojeva za zavarivanje i oblici žlijebova koji se primjenjuju u izradi trupa broda. Također standardom su definirane i tolerancije kao kriterij prihvatljivosti kvalitete u oblikovanju žlijeba. Redoslijed prikazivanja pojedinih priprema u standardu definiraju ujedno i prioritet u primjeni. Koji žlijeb će se primijeniti ovisi o:

- debljini osnovnog materijala
- vrsti osnovnog materijala
- postupku zavarivanja
- položaju zavarivanja
- vrsti i namjeni zavarenog spoja

Svako brodogradilište ima svoje standarde za pripremu spoja i postupak zavarivanja tako da je nemoguće generalizirati karakteristike pojedinog spoja, međutim za lakše kasnije razumijevanje izrade sekcija navode se sljedeći spojevi sa sljedećim karakteristikama:

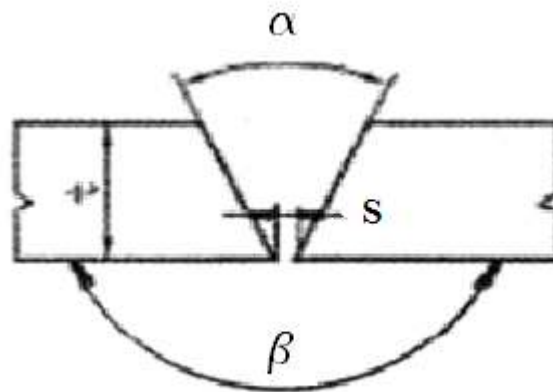
- sučeljni I spoj :
- oznaka AI
 - postupak zavarivanja: EPP, dvostrano
 - način izvedbe zavarivanja: automatom
 - debljina limova: $t = 5 - 15 \text{ mm}$
 - širina spoja: $s = 0 \text{ mm}$, tolerancija 1 mm



Slika 22. Standardizirani sučeljni I spoj

sučeljni V spoj:

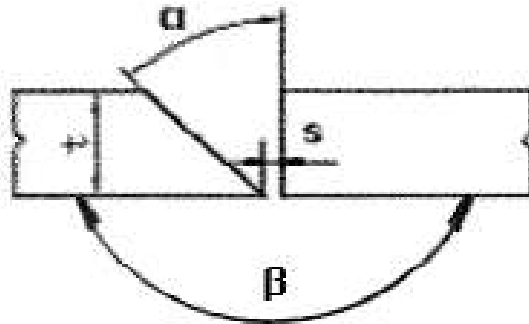
- oznaka PVK – 1
- postupak zavarivanja: MAG, jednostrano
- način izvedbe zavarivanja: poluautomatom
- debljina limova: $t = 5,5 - 25 \text{ mm}$
- $s = 6 \text{ mm}$, tolerancija $\pm 2 \text{ mm}$
- ostale dimenzije: $\alpha = 40^\circ$ (tol. = 0), $\beta = 180^\circ$ (tol. = + 10/-20mm)



Slika 23. Standardizirani sučeljni V spoj

- sučeljni polovični V spoj:
- oznaka PVK – 2
 - postupak zavarivanja: MAG, jednostrano
 - način izvedbe zavarivanja: poluautomatom
 - debljina limova: $t = 5,5 - 25 \text{ mm}$
 - $s = 6 \text{ mm}$, tolerancija $\pm 2 \text{ mm}$
 - ostale dimenzije: $\alpha = 40^\circ$ (tol. = 0),

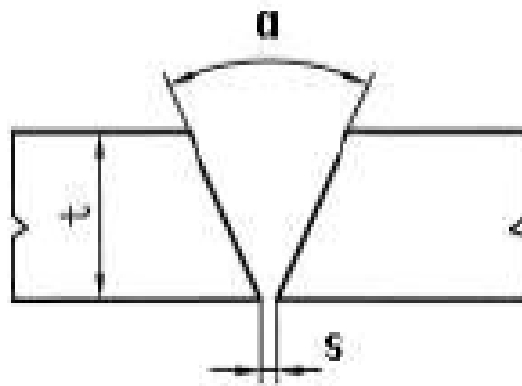
$$\beta = 180^\circ \text{ (tol. = + 10/-20 mm)}$$



Slika 24. Standardizirani sučeljni polovični V spoj

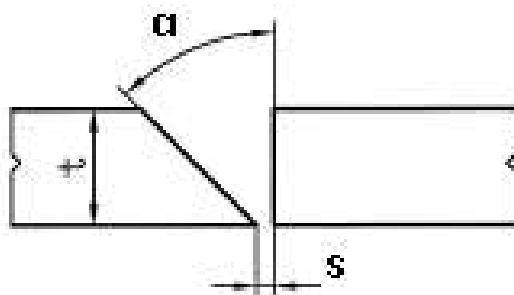
sučeljni V spoj:

- oznaka RV – 1
- postupak zavarivanja: REL, dvostrano
- način izvedbe zavarivanja: ručno
- debljina limova: $t = 0 - 25 \text{ mm}$
- $s = 2 \text{ mm}$, tolerancija $\pm 2 \text{ mm}$
- ostale dimenzije: $\alpha = 50^\circ$ (tol. $= \pm 5^\circ$)



Slika 25. Standardizirani sučeljni V spoj

- sučeljni polovični V spoj:
- oznaka RV – 2
 - postupak zavarivanja: REL, dvostrano
 - način izvedbe zavarivanja: ručno
 - debljina limova: $t = 0 - 25 \text{ mm}$
 - $s = 2 \text{ mm}$, tolerancija $\pm 2 \text{ mm}$
 - ostale dimenzije: $\alpha = 50^\circ$ (tol. = $\pm 5^\circ$)



Slika 26. Standardizirani sučeljni polovični V spoj

5. PREDMONTAŽA KARAKTERISTIČNIH ZAKRIVLJENIH SEKCIJA - POSTOJEĆI NAČIN

Nakon obrade elemenata broskog trupa slijedi faza predmontaže, odnosno izrada sekcija. Uvođenje predmontaže u brodogradnju je ključno jer se u konceptu gradnje broda gotovo sve promijenilo u odnosu na stari način gradnje broda. Glavni razlozi za uvođenje predmontaže u tehnološki proces gradnje su: veća točnost geometrije trupa, kraća gradnja na navozu jer se faze preklapaju, zavarivanje je lakše i u povoljnijem položaju, rad se odvija u povoljnijim uvjetima i neovisno o vremenskim uvjetima (u radionici), moguća je oprema sekcije u velikom obujmu i tako smanjeno vrijeme trajanja opremanja broda.

Sekcije se izrađuju redosljedom koji je utvrđen tehnološkim projektom gradnje i podjelom na grupe i sekcije. Sekcije se izrađuju u halama predmontaže, a veličina sekcije ovisi o: tehničko – tehnološkim mogućnostima montaže na navoz, tokovima materijala, tehnološkom procesu gradnje, kapacitetima dizalica navoza. U suvremenom tehnološkom procesu gradnje trupa broda mora biti uspostavljena čvrsta veza između radionica obrade i hale predmontaže, te mjesta za montažu broda, da bi tokovi materijala u procesu gradnje bili pravolinijski, bez povratnih i ukrštavajućih tokova.

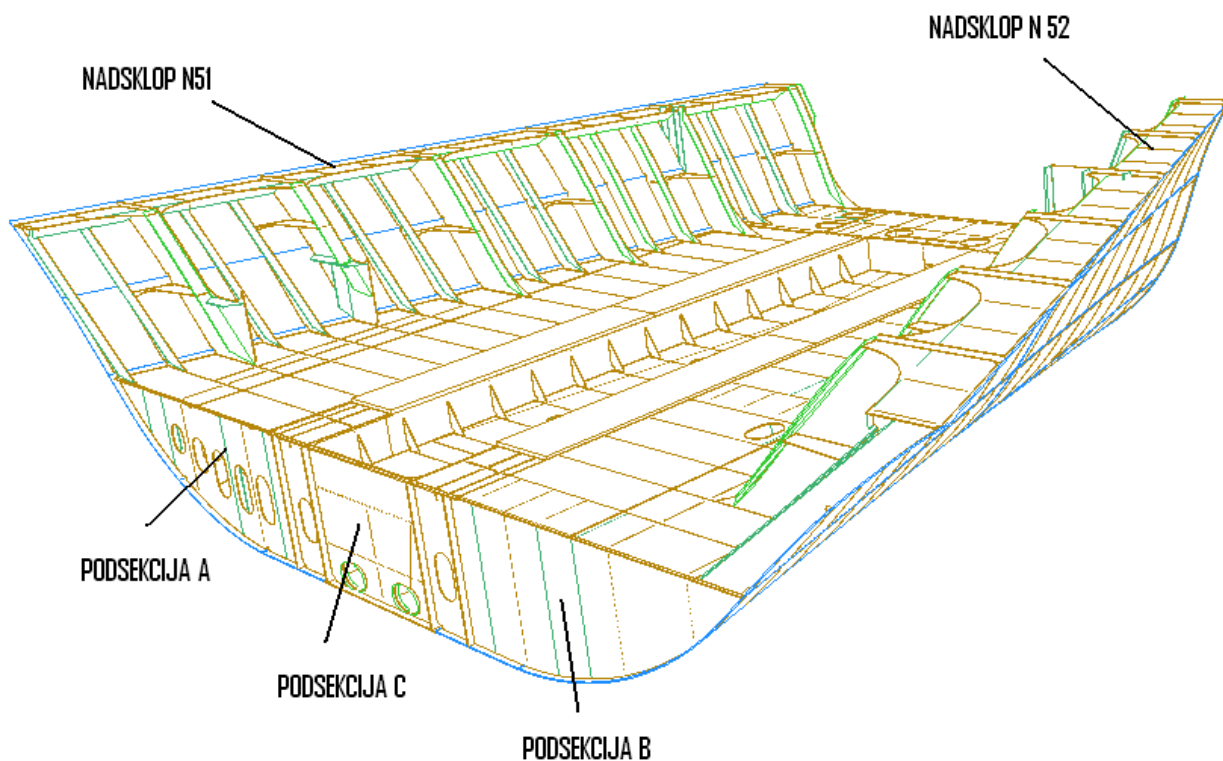
Faza predmontaže traje od završetka obrade elemenata do završetka izrade sekcije. Mali dio obrađenih elemenata ugrađuje se na navozu pojedinačno, dok veći dio elemenata prolazi kroz radne platforme predmontaže gdje se ugrađuju u:

- podsklopove od dva ili više elementa trupa koji se izrađuju u maloj predmontaži (podveze, proveze, rebrenice, okvirna rebra, sponje itd.)
- sklopove
- panel od dva ili više međusobno zavarena lima, ravna ili zakrivljena
- ravne ili zakrivljene plošne sekcije
- ravne ili zakrivljene volumne sekcije

Izrada zakrivljenih sekcija obavlja se na 3 načina. U radu su analizirane radne operacije, transport i potrebna sredstva za izradu 4 karakteristične sekcije koje su tipični predstavnici izrade jednom od spomenutih metoda. To su sekcije gradnje 476 i to: sekcija dvodna strojarnice, sekcija oplata boka, sekcija pramca i sekcija 2. palube na pramcu.

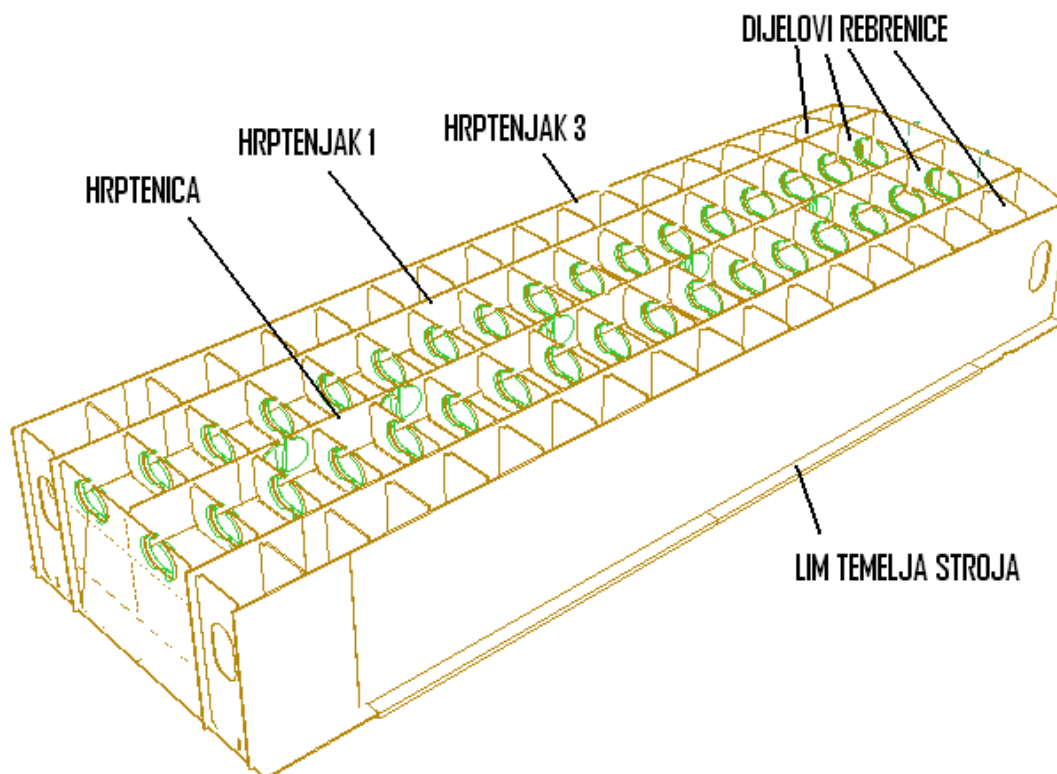
5.1. Analiza izrade sekcije 2021 (dvodno strojarnice R35- R53) gradnje 476

Ova sekcija sastoji se od 3 podsekcije, vanjske oplata i 2 nadsklopa (lijevo i desno). Način na koji se izrađuje ova sekcija jest u položaju obrnutom od položaja montaže na navozu. Prvo se izrade podsekcije te se naposljetku oblažu vanjskom oplatom i na kraju se dodaju nadsklopovi.



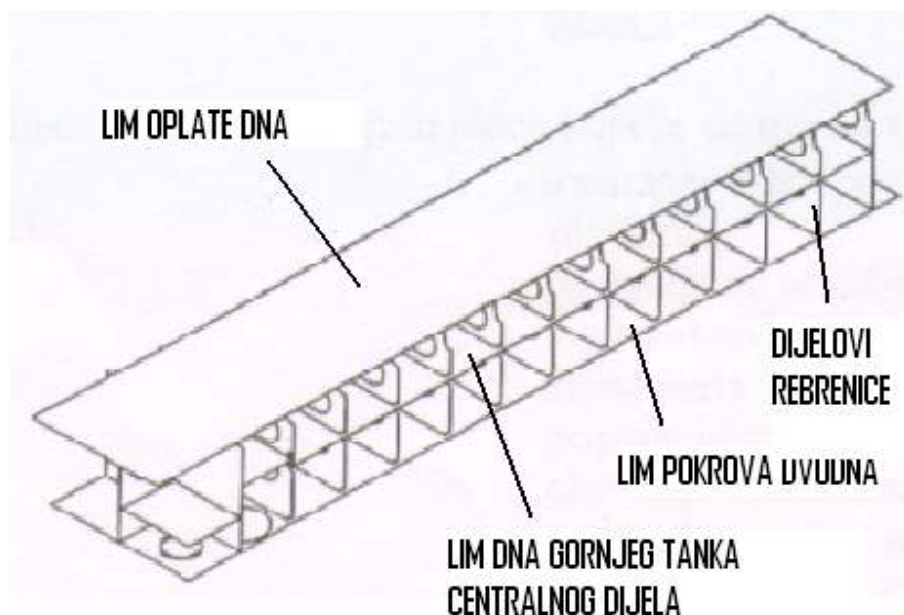
Slika 27. Izometrijski prikaz sekcije 2021

Izrada sekcije započinje izradom centralne podsekcije C koja se nalazi na sredini. Izrada se sastoji od 4 faze.



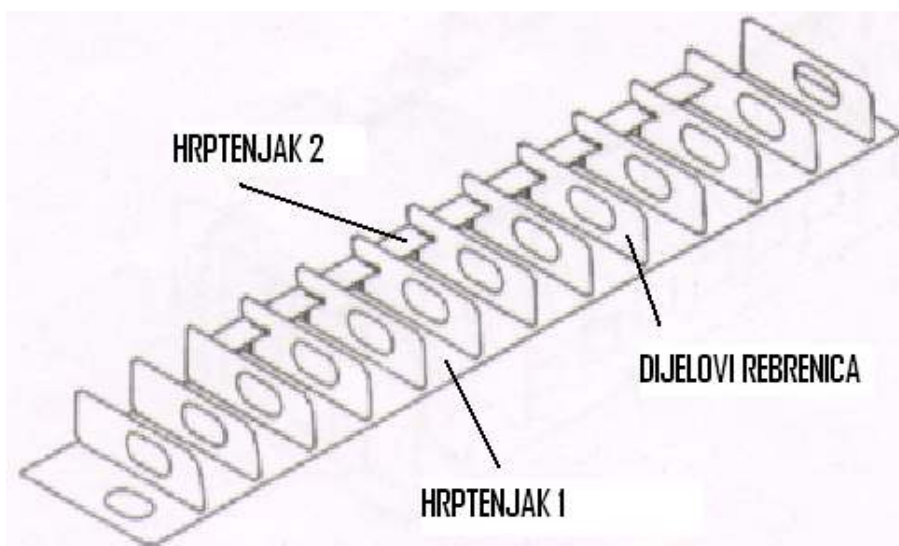
Slika 28. Izometrijski prikaz podsekcije C

Faza1. Baza za početak izrade centralne podsekcije je centralni lim pokrova dvodna između temeljnih ploča na koji se montira gornji dio centralnog hrptenjaka te poprečni elementi na poziciji rebrenica. Zatim se na te montirane elemente postavlja dno gornjeg tanka centralnog dijela te nadalje donji dio centralnog hrptenjaka i poprečne elemente na poziciji rebrenica u tom nivou. Svi navedeni elementi pripajaju se REL postupkom. Nadalje je potrebno trasirati točne pozicije rebara na centralnom limu oplata dna nakon čega se podiže i okreće te montira na centralni lim prema trasiranim pozicijama. Lim je nakon centriranja potrebno pritisnuti utegom radi osiguranja pravilnog prilijezanja. Slijedi faza zavarivanja MAG postupkom uz povremeno okretanje da bi spojevi bili u povoljnom položaju za zavarivanja.



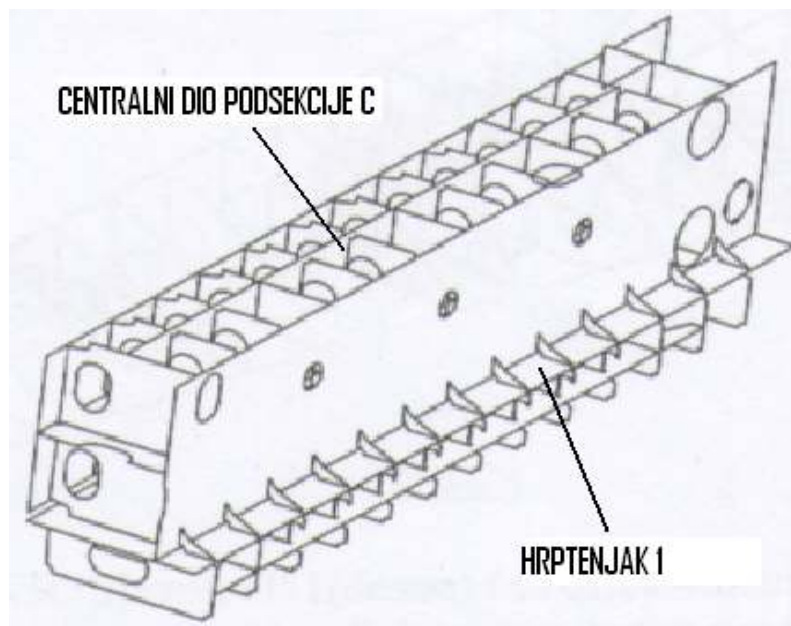
Slika 29. Izometrijski prikaz sklopa izrađenog u fazi 1

Faza 2. U međuvremenu dok se dio podsekcije iz prve faze zavaruje, kreće se s drugom fazom u kojoj se na hrptenjak 1 montiraju dijelovi rebrenica do hrptenjaka 3. (lijevo i desno) kao i pojačanje tj. traka na poziciji hrptenjaka 2 te se zavaruje u vodoravnom položaju MAG postupkom.



Slika 30. Izometrijski prikaz sklopa izrađenog u fazi 2

Faza 3. Hrptenjak 1 sa dijelovima rebrenica (lijevi) okreće se za 180° te se na njega montira centralni dio podsekcije okretanjem na bok za 90°. Isti postupak se poduzima za montažu hrptenjaka 1 s desne strane. Nakon svakog okretanja dijela podsekcije C slijedi zavarivanje MAG postupkom koje mora biti dovršeno prije postavljanja na temeljne ploče.

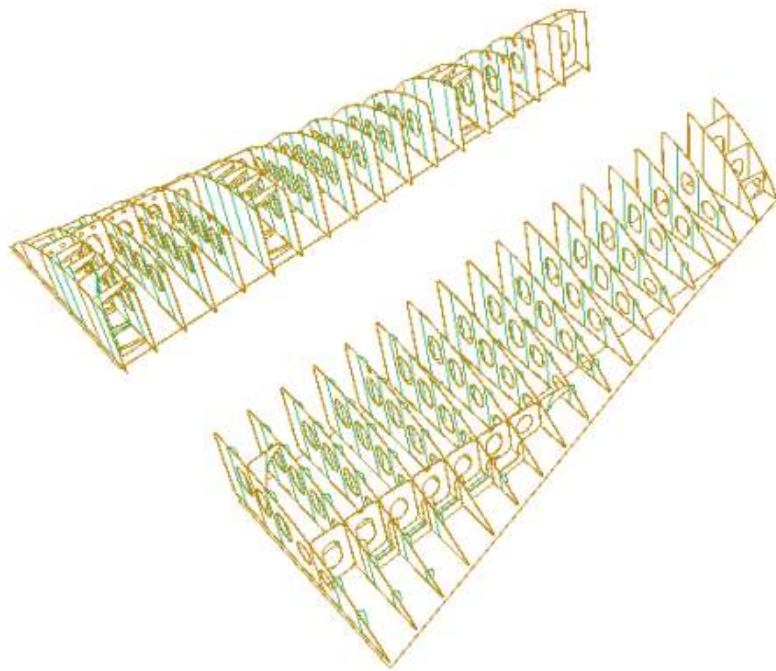


Sliuka 31. Prikaz montaže centralnog dijela podsekcije C na sklop hrptenjaka 1

Faza 4. Montaža temeljnih ploča sastoji se od trasiranja točne pozicije temeljnih ploča na radnoj platformi. Zatim slijedi postavljanje samih ploča na trasirane pozicije te međusobno pripajanje REL metodom uz provjeru dijagonala. Sljedeći korak je pripajanje temeljnih ploča za radnu platformu, okretanje i montaža dijela podsekcije C koja je izađena u prethodne 3 faze.

Nakon izrade podsekcije C slijedi izrada podsekcija A i B. One su simetrične s obzirom na centralnu podsekciju C ali konstrukcijski nisu identične. Razlika u njihovoj konstrukciji je u tome da pojedini elementi, kao što su na primjer oslonci upora, provlake, trake itd., nisu na istim pozicijama u lijevoj i desnoj podsekciji. Poprečni elementi, rebrenice, i uzdužni, hrptenjaci, su simetrični tj. na istoj udaljenosti s lijeve i desne strane s obzirom na CL. Izrada tih dviju podsekcija je identična (osim spomenutih različitih detalja) i sastoji se od montiranja krova dvodna. Limovi se pozicioniraju na radnoj platformi u hali i zavaruju se EPP automatom samo s

jedne strane te se nakon zavarivanja trasiraju, odnosno obilježavaju se pozicije elementata strukture koja se montira na njih. Druga strana spoja se zavaruje kada se kasnije cijela sekcija okrene, također EPP automatom. Sljedeći korak je montaža rebrenica i hrptenjaka na trasirane pozicije. Ti elementi su prethodno izrađeni u maloj predmontaži i uzeti su iz međuskladišta. Montaža tih elemenata sastoji se u tome da brodomonteri pozicioniraju ručno ili uz pomoć dizalice, ako su elementi teški, i privare sa nekoliko zavara od 20-30 mm REL-om. Kasnije se kada je sve pozicionirano zavaruju se svi pozicionirani elemenati MAG-om i naposljetku se svi zavari bruse do propisane kvalitete.



Slika 32. Izometrijski prikaz bočnih podsekcija A i B

Izrađene podsekcije nakon što su zavarene i pobrušene valja spojiti u jednu strukturu tj. u sekciju dvodna strojarnice. Baza za spajanje je dijelova dvodna je krov dvodna, znači u položaju obrnutom od položaja montaže. Specifičnost ove sekcije su različite debljine limova na mjestu spoja. Spoj lijeve i desne podsekcije sa centralnom je ustvari spoj temeljne ploče glavnog stroja i krova dvodna strojarnice. Razlika u debljini je značajna, 50 mm i zbog toga je potrebna priprema spoja RV-2 što podrazumijeva zavarivanje REL metodom. Također bitna predradnja prije samog

spajanja je adekvatno podlaganje podsekcija. Podlaganje u ovom slučaju odnosi se na izdizanje sekcije paralelno iznad radne platforme zato da posljednji voj vanjske oplata može ići preko krova dvodna. Tehnološka uputa također nalaže da se bočne podsekcije podignu više od centralne i to za debljinu temeljne ploče, ali budući da se mora uzeti u obzir stezanje prilikom zavarivanja potrebno je bokove podložiti na krajevima nešto manje od spomenute razlike jer će se bokovi izdići iznad visine podlaganja nakon zavarivanja. Nakon završene oprecije podlaganja i namještavanja slijedi zavarivanje spojeva podsekcija samo sa strane u kojoj se sekcija trenutno nalazi.

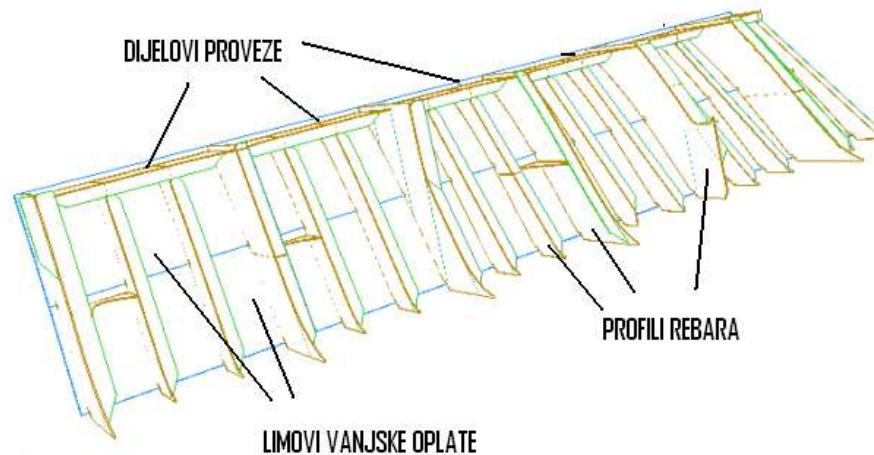
Spojene podsekcije sada čine jednu čvrstu konstrukciju koju treba obložiti vanjskom oplatom. Limovi se postavljaju pojedinačno kojima je prethodno potrebna priprema rubova za sučeljni V spoj koji se zavaruje samo s vanjske strane MAG postupkom. Montaža vanjske oplata kreće od sredine prema boku simetrično s lijeve i desne strane. Lim se pozicionira tako da ga dizalica uz asistenciju montera pozicionira na njegovu poziciju i zatim se dok ga još dizalica pridržava privaruje na rebrenice. Na svakom drugom rebro pojačava se spoj lima sa strukturom i to tako da se samo s jedne strane napravi zavar od otprilike 1200 mm na spoju rebrenice i lima oplata. Postepeno kako se limovi slažu postavlja se i skela jer je ploha po kojoj se radi zakrivljena i relativno visoka s obzirom na radnu platformu. Pozicioniranje limova i njihovo pričvršćivanje za zavarivanje vrši se pomoćnim brodomonterskim alatima: mostićima za fiksiranje spoja, pomoćnim komadima profila sa rasporima za klinove kako bi se osiguralo dobro prilijeganje i izbjegla zračnost, ručna lančana dizalica i hidrauličke ručne pumpe za uzdužno privlačenje limova itd. Nakon pozicioniranja limova oplata, s unutarnje strane šavova i stikova postavlja se keramička obloga. Nakon toga zavaruju se svi šavovi i stikovi s vanjske strane oplata, zavari se bruse a zatim se miče sav pomoćni alat i režu se svi pomoćni elementi te se bruse pozicije na kojem su bili zavareni. Postavljaju se uške za transport i montažu sekcije te se zavaruju. Također dok još skela nije demontirana postavljaju se oznake na trupu i oslonci čeličnih potklada te prstenovi čepova balstnog tanka. Na kraju ide demontaža skele, tj. skidanje drvene građe same skele i rezanje spoja sekcije i čelične konstrukcije (konzole) skele.

Na slici 33. vidi se redoslijed postavljanja limova od CL-a prema završnom voju vanjske oplata. Na spoju dva lima vide se privremeni zavareni mostići koji osiguravaju stabilnost i čvrstinu spoja. Također vidljivi su i privremeno zavareni elementi ispod kojih se nabija klin i time regulira visina spoja dva lima. Vide se i zavarena koljena sa provrtima za montiranje konzole koja drži skelu. Keramička obloga postavlja se sa unutarnje strane spoja.



Slika 33. Postavljanje limova vanjske oplata

U međuvremenu dok traje opreacija zavarivanja šavova i stikova vanjske oplata vrši se montaža nadsklopa N51 i N52.



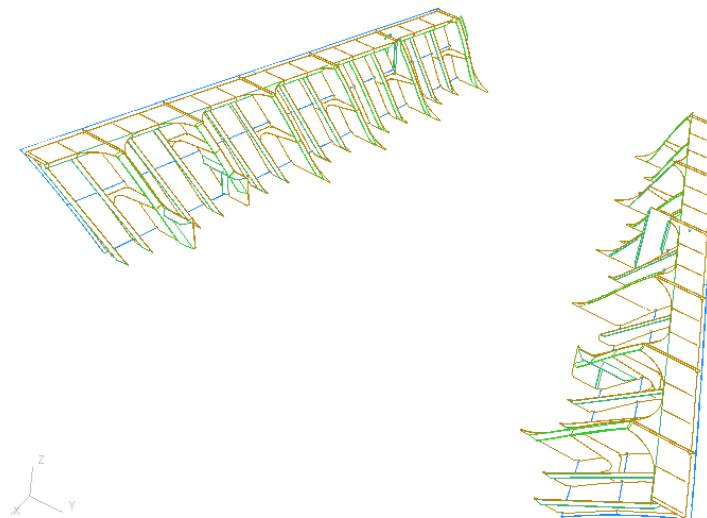
Slika 34. Izometrijski prikaz nadsklopa N51

Radi se o vanjskoj oplati koja se sastoji od dva voja lima s unutarnjim ojačanjima tj. rebrima i okvirnim rebrima sa pripadajućim koljenima te limovima proveze. Nadsklop lijevo i desno od CL su simetrični i u nastavku su završnog voja vanjske oplata sekcije dvodna. Montaža nadsklopova vrši se na radnoj platformi u hali pokraj same sekcije dvodna. Limovi se postavljaju jedan do drugog po pozicijama, a budući da su limovi zakrivljeni ne mogu se zavarivati na podu radionice već ih je potrebno postaviti na podupirače, slika 35.



Slika 35. Pozicionirani limovi vanjske oplata na radnoj platformi radionice

Točne visine podizanja po šavovima i po stikovima (ili po rebrima i vodnim linijama) dobiju se iz ureda za numeričko trasiranje u obliku tabličnih vrijednosti. Najniža točke te zakrivljene plohe stavlja se u ravninu željeznih šina na podu hali i ostale točke se podupiru po visinama iz tablice. Montaža limova nadsklopova vrši se u položaju montaže na sekciju, tj. unutarnji dio oplata gleda prema gore. Na isti način kao i kod oplata sekcije, spojevi limova se fiksiraju mostićima i komadima profila, postavlja se keramička podloga sa donje strane, te se zavaruju MAG-om. Nakon što je oplata zavarena trasiraju se pozicije rebara i zatim se rebra (savijeni profili) pozicioniraju i privaruju. Slijed montaže rebara je definiran tehnološkim uputama a on govori to da se mora montirati okvirno rebro, rebra, pa zatim dio proveze (sa pripadajućim koljenima) do sljedećeg okvirnog rebra itd. Dijelovi proveze se također privaruju nakon pozicioniranja te se sve skupa na kraju zavari MAG-om i pobrusi na propisanu kvalitetu.

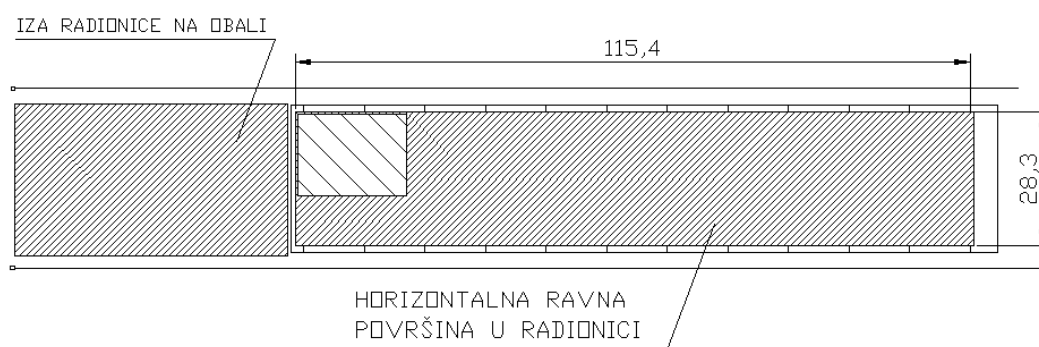


Slika 36. Izometrijski prikaz nadsklopova N51 i N52

Vanjska oplata sekcije dvodna je zavarena i sve završne faze su gotove. Slijedi okretanje dvodna za 180° i zavarivanje druge strane krova dvodna automatom te zavarivanje oplata za strukturu s unutarnje strane. Ono što se izbjegava jest nadglavno zavarivanje zbog kvalitete zavara pa se zbog toga sekcija okreće. Zavarivači moraju biti spretni i zavlačiti se unutar sekcije

a organizacija posla mora im omogućiti ventilaciju unutar sekcije i potrebno osvjetljenje. Također se unutarnji zavari vanjske oplata zavaruju MAG tehnologijom te se na kraju bruse.

Gabariti sekcije dvodna su 14,6 x 15,6 m. Te dimenzije ostavljaju dovoljno prostora za izradu drugih manjih brodskih struktura pored nje, primjerice nadsklopova N51 i N52 te iste sekcije. Na slici 37. skicom je prikazana potrebna površina za izradu sekcije dvodna u hali P3 gdje se i izrađuje.



Slika 37. Površina za izradu sekcije 2021 u hali P3

Masa cijele sekcije dvodna kada je izrađena iznosi oko 170 tona. Budući da je nosivost dizalice koja opslužuje halu P3 gdje je izgrađena sekcija 150 tona, nadsklop N51 i N52 se naknadno montiraju na prostoru brodogradilišta gdje se vrše operacije ukрупnjavanja sekcija i gdje postoji dizalica nosivosti 200 tona.

Izrada sekcije 2021 zahtijeva 14 ljudi, podijeljenih po zanatima: 4 brodomontera, 8 zavarivača i 2 brusaa. Potreban je također i određeni broj ljudi koji montiraju i demontiraju skelu. Procjena je da je za te aktivnosti potrebno oko 4 čovjeka. U izradu sudjeluju i operateri vanjskih i radioničkih dizalica.

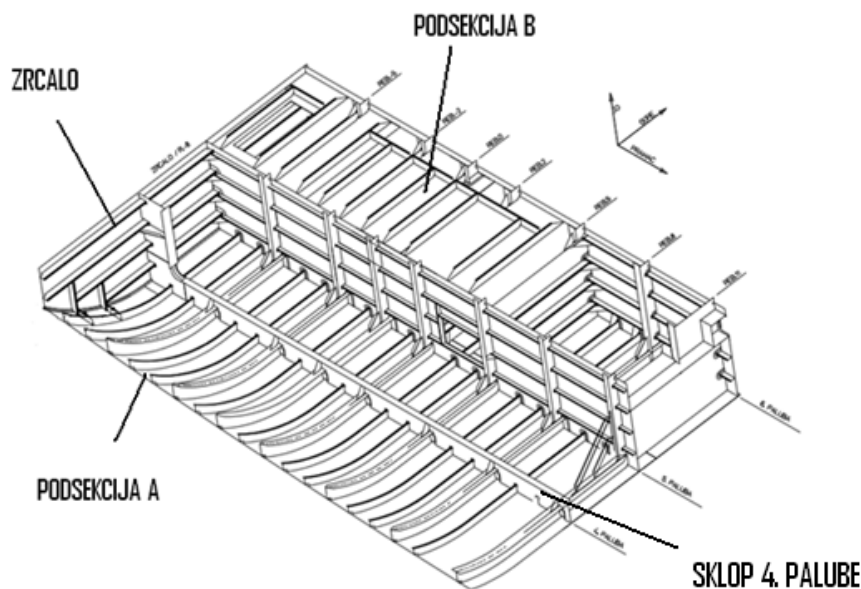
Vrijeme potrebno za izradu ove sekcije je 50 radnih dana. Podaci su uzeti kao prosjek broja ljudi iz dostupnih podataka brodogradilišta. Taj podatak varira ovisno o fazi izrade sekcije,

npr. kada se zavaruje sekcija bude i preko 10 zavarivača na sekciji ali u tom trenutku onda nema niti jednog brodomontera itd.

Nakon izgradnje čitave sekcije, ona se odvozi na antikorozivnu zaštitu te se kao gotova sekcija transportira na navoz gdje se nastavlja njena montaža u trup broda ili na skladište gotovih sekcija. Transport se vrši u položaju montaže.

5.2. Analiza izrade sekcije 3381 (oplata boka dolje R Z-11) gradnje 476

Ova sekcija sastoji se od dvije podsekcije: vanjske oplata (podsekcija A), 6. palube (podsekcija B), sklopa 4. palube i sklopa zrcala krme, slika 38. Izrada ovih podsekcija nije ovisna jedna o drugoj te se izrađuju paralelno jedna uz drugu da bi se na kraju spojile u jedinstvenu sekciju.

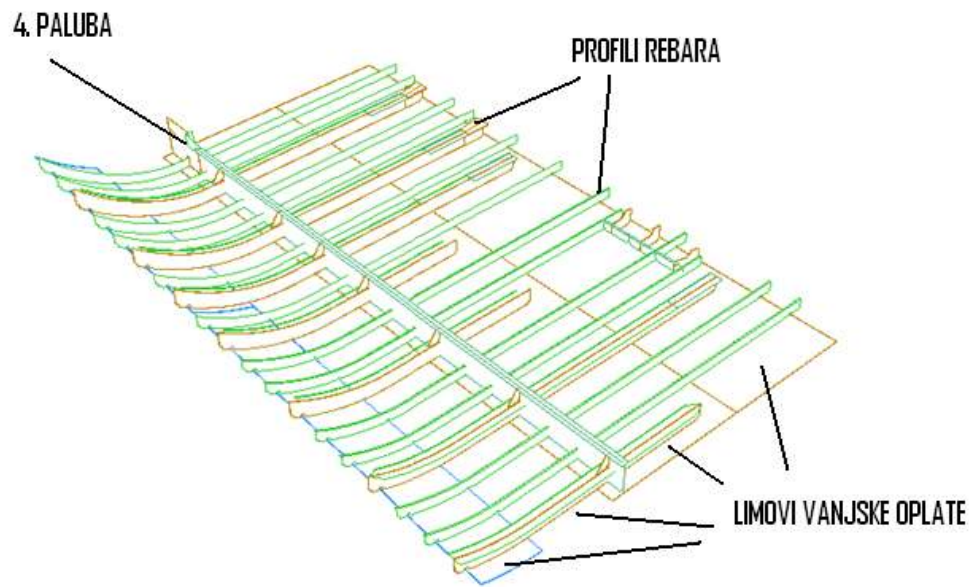


Slika 38. Izometrijski prikaz sekcije 3381

Specifičnost izrade ove sekcije je da se ona izrađuje u položaju koji nije potpuno obrnut od položaja montaže, već je ona na radnoj platformi hale okrenuta za 90°. Položena je na bok

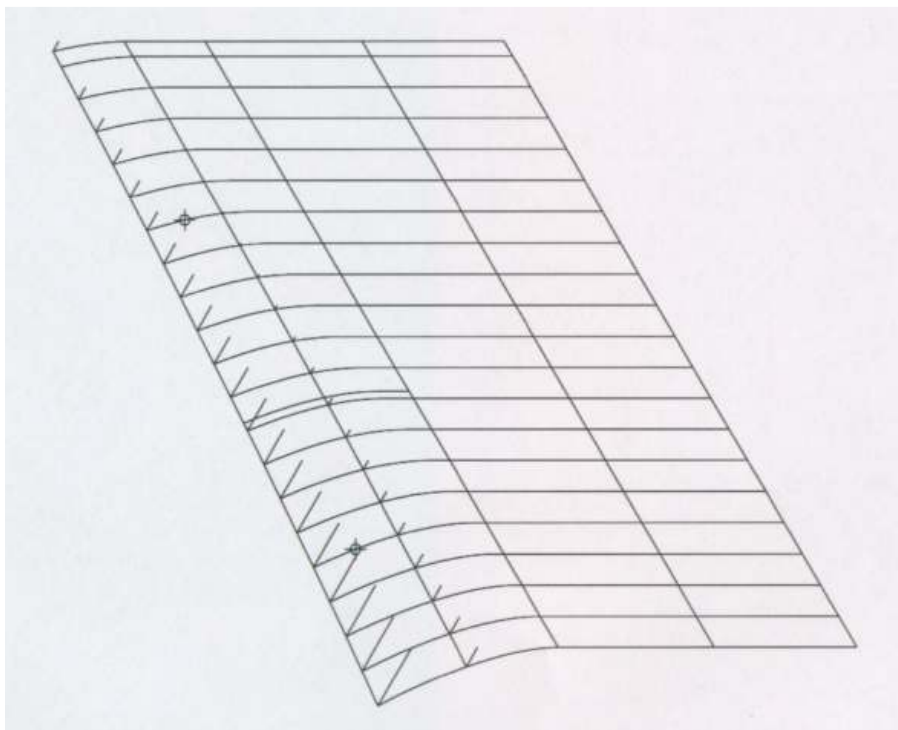
vanjske oplata jer je to ujedino i najveća ravna ploha ali je to i baza za izradu podsekcije A te se tako smanjuje broj okretanja sekcije.

Podsekcija A sadrži 2 šira voja limova vanjske oplata koji su ravni te 2 dvostruko uža voja koji su zakrivljeni, slika 39.



Slika 39. Izometrijski prikaz podsekcije A

Izrada sekcije počinje pozicioniranjem svih limova na radnu platformu radionice. Budući da zakrivljeni limovi ne mogu samostalno stajati njih je potrebno poduprti sa uporama. Takav način izrade naziva se podlaganje na visinama. Iz ureda za numeričko trasiranje dobiju se za određene točke visine na kojima je potrebno određenu točku poduprti da bi izrada bila točna. Pomoću računalnog programa odredi se referentna ravnina, koju u ovom slučaju definiraju ravni limovi vanjske oplata, te se podižu okomito duljine iz te ravnine do sjecišta rebara i šavova ili sjecišta karakterističnih stikova i šavova, slika 40. Te dobivene udaljenosti od karakteristične točke do referentne ravnine (okomice) se sistematiziraju u tablicu i na osnovu tih podataka monter i slažu limove i podupiru ih te tako dobiju zakrivljenu oplatu sekcije. Referentna ravnina u radionici je radna platforma tj. gornji rub željezničkih šina koje su fiksirane u betonskoj podlozi i koje su razmaknute u pravilnim razmacima.

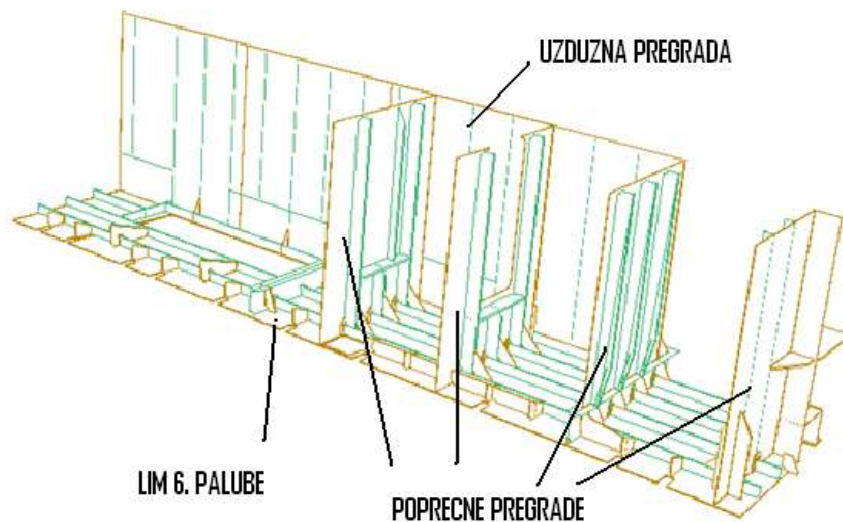


Slika 40. Grafički prikaz visina podupiranja limova

Dakle, referentna ravnina sekcije, vanjska oplata, i referentna ravnina radne platforme, gornji rub željezničkih šina, se podudaraju i čine bazu za izgradnju podsekcije A. Ravni limovi se polože na šine dok se zakrivljeni pozicioniraju uz pomoć upora na prethodno opisani način. Pozicionirani limovi se privaruju te se tako fiksiraju, a na početku i na kraju svakog zavora postavlja se pomoćna pločica koja služi za zavarivanje EPP automatom, tj. za njen početak i kraj da bi sam zavar na rubu lima bio kvalitetan. Slijedi zavarivanje svih šavova i stikova koji su prethodno pripremljeni kao sučeljni I spojevi. Nakon zavarivanja EPP-om nije potrebno brušenje ni dodatno skidanje troske, jer ona sama otpada, već je dovoljno počistiti ostatke praška i otpale troske. Na limove panela se, nakon što je zavaren samo s unutarnje strane, trasiraju pozicije rebara, paluba i traka. Iz međuskladišta uzimaju se savijeni HP profili rebara i T profili okvirnih rebara te se pozicioniraju na trasirane pozicije. Budući da zakrivljenost limova i zakrivljenost profila sigurno neće biti u milimetar točna kao što je u računalu, treba osigurati spoj profila i lima od moguće zračnosti. U tu svrhu se koriste pomoćni alati i radno iskustvo brodomontera. Od alata najčešća je autodizalica ili ručne hidraulične pumpe koje u kombinaciji s privremeno

zavarenim elementima u obliku slova T ili naopako U omogućavaju pritisak na lim te privarivanje bez zračnosti u spoju. Privaruje se REL-om sa kratkim zavarima (cca 30 mm) sa svake strane profila na svakih metar udaljenosti ili po potrebi. Nakon rebara pozicionira se i T profil (oslonac pomične palube) koji je okomit na rebra a koji je sastavni dio 4. palube. Na isti način kao i rebra, postavlja se na prethodno izmjerenu poziciju, stisne se pomoćnim alatom zbog zračnosti te se privaruje za lim opalte. Nakon što su rebra i 4. paluba sa pripadajućim koljenima privareni slijedi njihovo zavarivanje MAG-om te brušenje na propisanu kvalitetu. Podsekcija A je gotova i može se montirati na nju podsekcija B.

Princip izrade podsekcije B nije kompliciran zato jer tu nema zakrivljenih limova i profila i vrlo je sličan podsekciji A. Baza za izradu podsekcije B je proveza 6. palube u položaju obrnutom od položaja montaže, slika 41.



Slika 41. Izometrijski prikaz sklopa 6. palube

Budući da je lim proveze u jednom komadu, operacije spajanja limova nisu potrebne već se odmah pristupa pozicioniranju uzdužnjaka palube sa pripdanim koljenima koji se pritišću i privaruju na isti način kao i kod podsekcije A. Nakon uzdužnjaka postavljaju se sponje i poprečne pregrade proveze koje su prethodno izrađene u maloj predmontaži. Privaruju se REL-om dok ih dizalica pridržava na poziciji. Na kraju postavlja se uzdužna pregrada stubišta sa

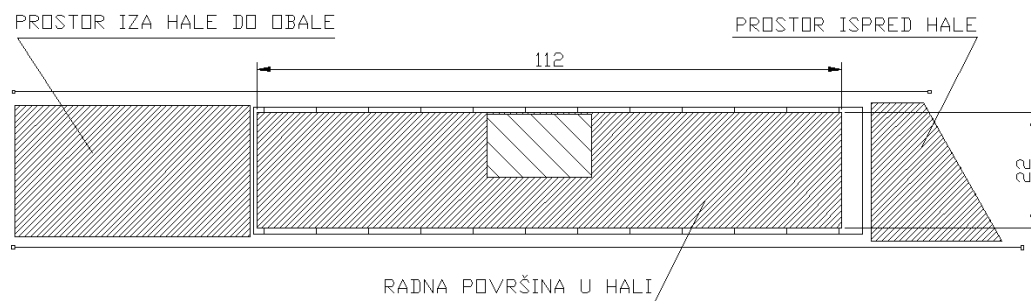
svojim ukrepama koja je također prethodno izrađena u maloj predmontaži. Kad je sve pozicionirano i privareno slijedi zavarivanje svih spojeva MAG-om te završno brušenje.

Još dva sklopa čine ovu sekciju koja se također izrađuju u istoj hali. To su opločenje zrcala i proveza 5. palube. Oba sklopa se izrađuju na potpuno identičan način. Limovi vanjske oplata tj. palube postave se na radnu platformu u položaju obrnutom od montaže i na njih se pozicioniraju uzdužnjaci i poprečni elementi (sponje i elementi palube). Sve se pritisne zbog izbjegavanja zračnosti i privaruje se REL-om. Slijedi zavarivanje elemenata na lim MAG-om te brušenje na propisanu kvalitetu.

U međuvremenu dok se ta dva sklopa zavaruju podsekcije su gotove te spremne za spajanje. Podsekcija A se ne miče i ona ostaje u položaju u kojem je i izrađena dok se podsekcija B okreće za 90° i montira na podsekciju A. Uz pomoć dizalice i pomoćnog monterskog alata pozicionira se sekcija na njenu poziciju i privaruje se. Zavarivači mogu odmah krenuti zavarivati spojeve podsekcija A i B jer kod podsekcije B nema niti jedan zavar koji je u procesu izrade bio nadglavno. Dok se spojevi zavaruju monter montiraju opločenje zrcala i provezu 5. palube. Također uz pomoć dizalice, pomoćnog alata (autodizalice i hidrauličnih ručnih pumpi) te uz pomoć privremeno zavarenih elemenata (npr. klinove za pozicioniranje nosača paluba i za zakrivljeni dio oplata) sklopovi se pozicioniraju i privaruju. Dok traje proces zavarivanja i brušenja svih spojeva podsekcija, zrcala i 5. palube, postavljaju se pripadajuća koljena na tim spojevima i zavaruju se, te se montiraju ljestve stubišta. Izrađena se sekcija okreće za 180° te se zavaruju spojevi koji su u prethodnom položaju bili nadglavni te se bruse. Također zavaruje se i druga strana šavova i stikova vanjske oplata EPP automatom. Nakon toga režu se pomoćne pločice na početku i kraju svakog zavara vanjske oplata i za kraj zavaruju se uške za transport.

Masa ove sekcije je 30 tona što omogućava transport i manipulaciju gotovo sa svim dizalicama koje su u pogonu te nema nikakvih posebnih ograničenja. Treba napomenuti da iako je ova sekcija relativno mala (dimenzije u tlocrtu 12,7 m x 8,4 m i visina 2,5m) ona ne ide u proces ukрупnjavanja jer nije tako predviđeno planom sekcija. Sekcija direktno ide na antikorozivnu zaštitu te u skladište gotovih sekcija ili na montažu na navoz.

Potreban prostor za izradu ove sekcije nešto je veći od samih gabarita u tlocrtu. Pored zakrivljenog panela izrađuje se i podsekcija B te dva sklopa (zrcalo i 5. paluba) te je predviđen prostor za izradu do polovice hale u širinu i do 20 m u duljinu. Limovi i profili se unose iz međuskladišta koje je smješteno izvan hale u neposrednoj blizini. Na slici 42. skicom je prikazana potrebna površina za izradu ove sekcije koja se izrađuje u hali P2.



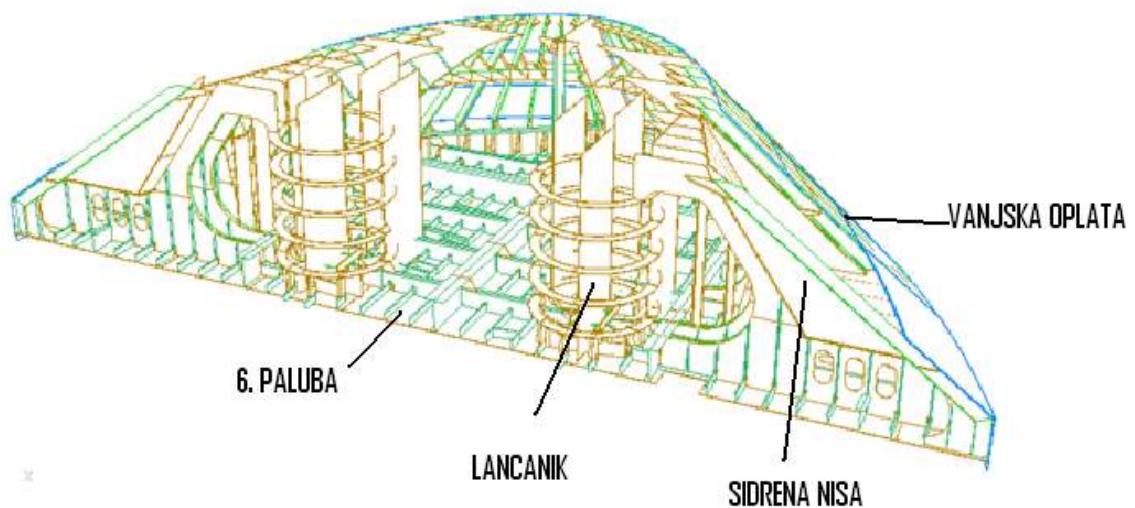
Slika 42. Površina za izradu sekcije 3381 u radionici P2

Izrada sekcije 3381 zahtijeva 9 ljudi, podijeljenih po zanatima: 3 brodomontera, 4 zavarivača i 2 brusača. U izradi sudjeluju i operateri vanjskih i radioničkih dizalica.

Vrijeme potrebno za izradu ove sekcije je 17 radnih dana. Podaci su uzeti kao prosjek dostupnih podataka iz brodogradilišta. Taj podatak varira ovisno o fazi izrade sekcije, npr. kada se zavaruje sekcija bude i preko 8 zavarivača na sekciji ali u tom trenutku onda nema niti jednog brodomontera itd.

5.3. Analiza izrade sekcije 4052 (pramac – 6. paluba R240- R260) gradnje 476

Izrada ove sekcije vrši se u položaju obrnutom od položaja montaže na navozu. Baza za izradu sekcije je 6. paluba koja se izrađuje u prostoru izvan radionice P2 u kojoj će na kraju cijela sekcija biti sastavljena. Radi se o radnom prostoru za predmontažu sekcija na otvorenom, P4.



Slika 43. Izometrijski prikaz sekcije 4052

Prvi korak je pozicioniranje svih limova palube na radnu platformu te njihovo fiksiranje međusobnim privarivanjem. Slijedi zavarivanje pomoćnih pločica na početku i kraju svih uzdužnih i poprečnih zavora zbog bolje kvalitete zavora na samom rubu lima te na kraju zavarivanje automatom EPP. Nakon zavarivanja jedne strane palube uklanjaju se pomoćni elementi za pozicioniranje te se vrši trasiranje pozicija uzdužnjaka, sponja i ostalih elemenata.

Na trasirane pozicije prvo se pozicioniraju profili uzdužnjaka, pritišću se zbog izbjegavanja zračnosti te se privaruju REL-om na svakih 500 mm sa zavarom od cca 30mm. Nakon uzdužnjaka pozicioniraju se sponje na isti način kao i uzdužnjaci, pritišću se i privaruju također REL-om. Dok se postavljeni uzdužnjaci i sponje zavaruju MAG-om, na opločenje

palube u međuvremenu se pozicioniraju i privaruju ostali elementi palube kao što su ukrepe, pojačanja za vitla i bitve te pripadajuća koljena, a također se postavljaju i uške za transport. Kako bivaju zavareni elementi tako se njihovi spojevi sa opločenjem bruse na propisanu kvalitetu.

Nakon što su svi elementi zavareni i pobrušeni, panel se okreće za 180° te se automatom EPP zavaruju svi spojevi limova, sada s druge strane. Zavareni se panel ravna grijanjem limova na poziciji uzdužnjaka i sponja uz pomoć plamenika (acetilen + kisik) i na kraju se odrezuju pomoćne pločice na početku i kraju svih zavara limova te se panel ponovno okreće za 180° i vraća u početnu poziciju. Gotov panel 6. palube spreman je za transport u radionicu P2 gdje se nastavlja izrada cijele sekcije pramca. Transport se vrši u dve faze: prva faza je plovnom dizalicom od mjesta izrade P4 do obale ispred hale P2 a druga faza je transport dizalicom uz navoz koja preko otvorenog pomičnog krova radionice unosi panel u radionicu P2 i pozicionira ga na upore na radnoj platformi radionice.

Budući da je sekcija složene konstrukcije i sadrži mnogo teških nepoduprtih elemenata (okvirna rebra, lepezasta rebra i proveza 5. palube), panel 6. palube mora biti potpuno zavaren da bi imao veću otpornost na opterećenje elemenata koje će se na njega montirati. Okrenuti panel se pozicionira na upore malo uzdignutim od radne platforme iz razloga da bi zadnji voj limova vanjske oplata mogao preći preko ravnine 6. palube.

Druga faza izgradnje ove sekcije je montaža okvirnih rebara te montaža strukture sidrene niše. Sidrena niša je pravokutno udubljenje u oplati pramca u kojem je smješteno sidro broda a ima rupu u sebi iz kojeg izvire sidreni lanac, slika 44. Sidrena niša je smještena između dva okvirna rebra i pojačana je na mjestima običnih rebara sa jakim profilima. Najprije se montira struktura između 6. palube i niše. To su limovi poprečnih pregradica sa ukrepama koji su prethodno izrađeni u maloj predmontaži i sama vanjska oplata sidrene niše.



Slika 44. Sidrena niša

Prvo se pozicioniraju na označene pozicije, privaruju se REL-om i zatim se zavaruju sve pozicije koje nisu nadglavno MAG-om. Razlog uranjenog zavarivanja jest taj što okviri i rebra koji su uz nišu kasnije drže konstrukciju lančanika. Dok se zavaruju pregrade i opločenja niše montiraju se okvirna rebra cijele sekcije. Slično kao i kod drugih elemenata, okviri se pozicioniraju uz pomoć dizalice i pomoćnog monterskog alata te se privaruju REL-om. Ono što drži okvirna rebra, budući da u položaju izrade sekcije su jako nagnuta prema unutra, jesu duži zvari kod privarivanja i privremene upore koje se, nakon što je spoj okvira i sponje zavaren MAG-om, uklanjaju.

Nakon što je struktura niše zavarena a okviri se zavaruju, u međuvremenu počinje izrada lančanika, slika 45. Lančanik je sastavljen od 4 savijena lima u presjeku i pripadajućim radijalnim ukrepama. Prvo se na trasirane pozicije pozicioniraju ona dva lima koji su oslonjeni na dva oslonca, tj. na opločenje 6. palube i na okvirna rebra.



Slika 45. Lančanik

Dižu se i pozicioniraju uz pomoć dizalice te uz pomoć monterskog alata. Privaruju se pomoćnim elementima i kratkim zavarima REL-om. Nakon pozicioniranja ključna mjesta se zavaruju a to su: oslonac na okvire i na opločenje palube da bi konstrukcija lančanika bila stabilna i da se može na njoj raditi. Kada je taj dio posla obavljen montiraju se preostala dva zakrivljena lima na identičan način te se konstrukcija lančanika time zatvara. Uz lančanik se postavlja skela, te se reže privremeni otvor da bi se moglo ući unutra i zavariti unutarnji spoj lančanika i palube. Spojevi limova lančanika se namještavaju uz pomoć privremeno zavarenih elemenata i nabijenih klinova da bi se dobio spoj koji se može kvalitetno zavariti. Također na svakih cca 500 mm zavaruju se mostići koji to sve fiksno pridržavaju. Postavljaju se i radijalne ukrepe koje se privaruju REL-om. Na kraju se svi spojevi limova lančanika i ukrepe zavaruju MAG-om, te se bruse na propisanu kvalitetu.

Treća faza izrade sekcije pramca su montaža proveze 5. palube i lepezastih rebara prikazanih na slici 46.



Slika 46. Lepezasta rebra i proveza 5. palube

Dok se lančanik zavaruje brodomonteri nastavljaju montažom proveze 5. palube. To su prethodno izrađeni limovi sa svojim ukrepama u maloj predmontaži. Ti dijelovi proveze montiraju se komad po komad od jednog okvira do drugog. Pozicioniraju se uz pomoć dizalice i postavljaju na privremeno zavarene nosače. Privaruju se za okvire te se iz sigurnosnih razloga postavljaju i privremene upore otprilike na polovici udaljenosti između okvira. Na montiranu provezu stavlja se i skela uzduž cijele sekcije. Nakon što je cijela proveza montirana i oskelena slijedi montaža lepezastih rebara. To su HP profili koji su nagnuti prema unutra ali imaju dva oslonca i lako je njima baratati. Pozicioniraju se također uz pomoć dizalice i pomoćnih monterskih alata a oslanjaju se na provezu 5. palube i na koljena 6. palube. Kada su u poziciji privaruju se REL-om.

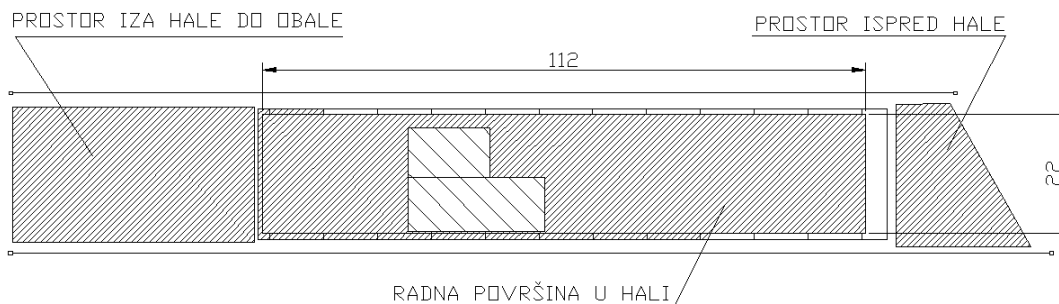
Posljednja faza izgradnje obuhvaća oblaganje sekcije vanjskom oplatom. Zavarivači su nakon zavarenog lančanika krenuli zavarivati provezu 5. palube. U međuvremenu monteri kreću sa najdonjim vojem vanjske oplata te postavljaju lim po lim. Pozicioniraju se uz pomoć dizalice i privaruju za opločenje 6. palube te za koljena koja su u nastavku lepezastih rebara. Spoj dva voja regulira se uz pomoć privremeno zavarenih elemenata i uz nabijanje klinova. Namješten spoj fiksira se mostićima. Tim istim postupcima lim po lim zatvara se struktura pramca vanjskom oplatom. Postepeno kako se vojevi montiraju, montira se i skela te se kreće sa zavarivanjem samih spojeva vanjske oplata. Prije zavarivanja s unutarnje strane postavlja se keramička obloga te se zavaruje MAG postupkom. Pri montaži vanjske oplata dosta pažnje pridaje se činjenici da li

su unutarnji radovi gotovi, zato da se ne mora nepotrebno uvoditi ventilacija i osvjetljenje unutar zatvorene sekcije u ovoj fazi izrade.

Nakon što su sve pozicije koje nisu bile nadglavno zavarene i pobrušene i nakon što su zavarene uške za transport, skida se kompletno sva skela sa svih pozicija te se sekcija uz pomoć dviju dizalica okreće za 180° tj. u položaj montaže. Sada svi spojevi koji su bili prethodno nadglavno, došli su u povoljnu poziciju za zavarivanje. Uvodi se u sekciju rasvjeta i ventilacija te se ponovno montira skela s unutrašnje strane sekcije. Sve se zavaruje i na kraju brusi na propisanu kvalitetu. Režu se prijašnje uške za okretanje i zavaruju nove koje omogućuju transport u položaju montaže.

Završetkom svih monterskih i zavarivačkih radova uklanja se sva skela, rasvjeta, ventilacija te alati i izrađena sekcija se kroz otvor u krovu radionice uz pomoć vanjske dizalice izosi van na obalu gdje se uz pomoć plovne dizalice odvozi na ukupnjavanje. Potrebno je samo montirati sekcije linice koje same po sebi nemaju veliku težinu (2-3 tone), ali ograničenje nosivosti dizalice (150 tona) koja opslužuje radionicu i masa sekcije (140 tona) se gotovo podudaraju i tu je sigurnost prevagnula. Sekcija se ukupnjava u dohvatu 200 tonske dizalice i tom istom dizalicom se montira na navoz.

Radni prostor potreban za izradu ove sekcije je značajan. Dimenzije 6. palube na kojoj je sekcija položena u radionici je 25,3 m x 13,2 m. To su dimenzije koje prelaze polovicu radionice i u značajnoj mjeri uvjetuju organizaciju posla same hale. Potrebna površina je i veća jer moramo uzeti u obzir i prostor međuskladišta sastavnih elemenata sekcije te skele koje ima poprilično.



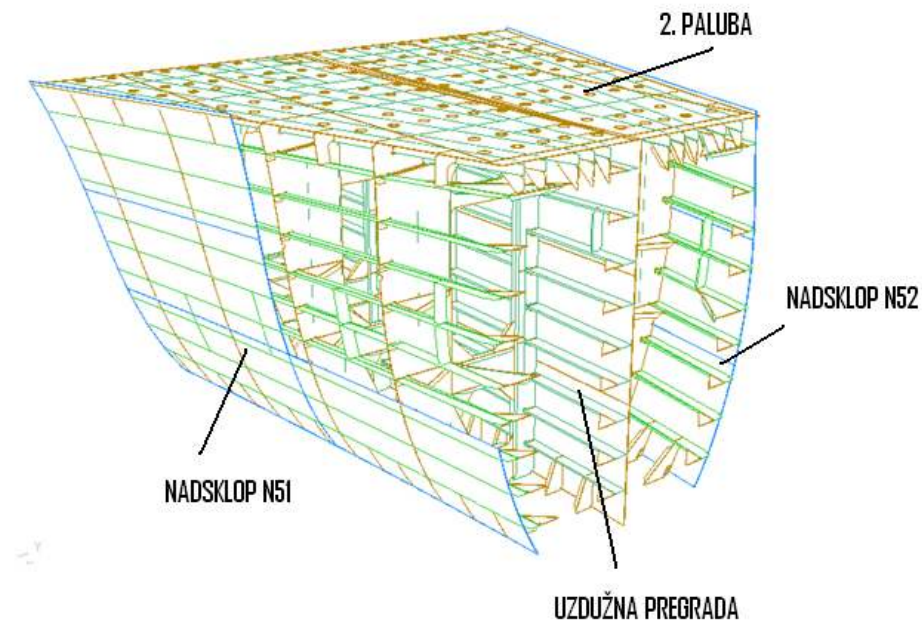
Slika 47. Površina za izradu sekcije 4052 u radionici P2

Izrada sekcije 4052 zahtijeva 12 ljudi, podijeljenih po zanatima: 4 brodomontera, 7 zavarivača i 1 bruslač. U izradi sudjeluju i operateri vanjskih i radioničkih dizalica.

Vrijeme potrebno za izradu ove sekcije pramca je 44 radna dana. Podaci su uzeti kao prosjek dostupnih podataka iz brodogradilišta.

5.4. Analiza izrade sekcije 3251 (2. paluba R 217- R 229) gradnje 476

Izrada ove sekcije sastoji se od izrade 2 podsekcije, panel 2. palube (A) i uzdužna pregrada na CL-u (B), te od 2 nadskolpa (N51 i N52) koji su vanjska oplata odnosno opločenje sekcije, slika 48. Specifičnost ove sekcije jest ta da se nadsklopovi N51 i N52 izrađuju na kolijevkama (dimama) te se naknadno montiraju na sekciju.



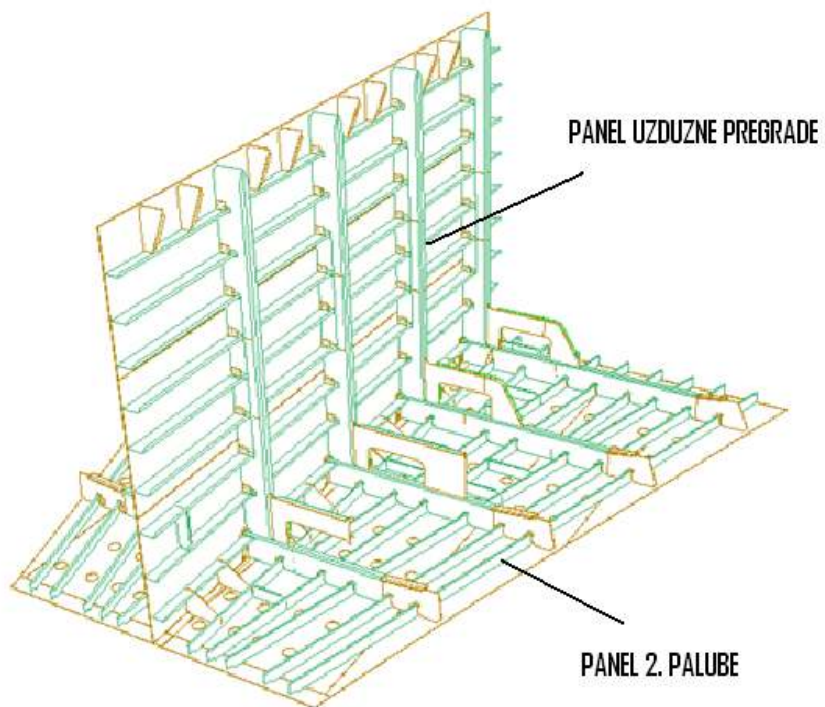
Slika 48. Izometrijski prikaz sekcije 3251

Baza za izradu podsekcija A je opločenje 2. palube. Limovi palube se pozicioniraju na radnu platformu u položaju montaže. Također na kraju i početku svakog zavora zavaruju se pomoćne pločice zbog toga da kvaliteta zavora na samom rubu bude propisane kvalitete te da se automat uputi u rad. Nakon toga slijedi zavarivanje svih uzdužnih i poprečnih zavora automatom EPP i na kraju uklanjanje pomoćnih pločica. Po završetku zavarivanja paluba se okreće za 180° i zavaruje se druga strana sučeljnih I spojeva također EPP automatom. Nakon što su zavoreni limovi, trasiraju se pozicije uzdužnjaka i poprečnih elemenata.

U međuvremenu dok se limovi 2. palube zavaruju, kreće se za izradom uzdužne pregrade. Konstrukcijski je vrlo slična palubi, stoga su i postupci izrade vrlo slični. Limovi se pozicioniraju na radnu platformu na onu stranu gdje nema strukture. Pripajaju se, zavaruju pomoćne pločice te se svi spojevi zavora automatom EPP.

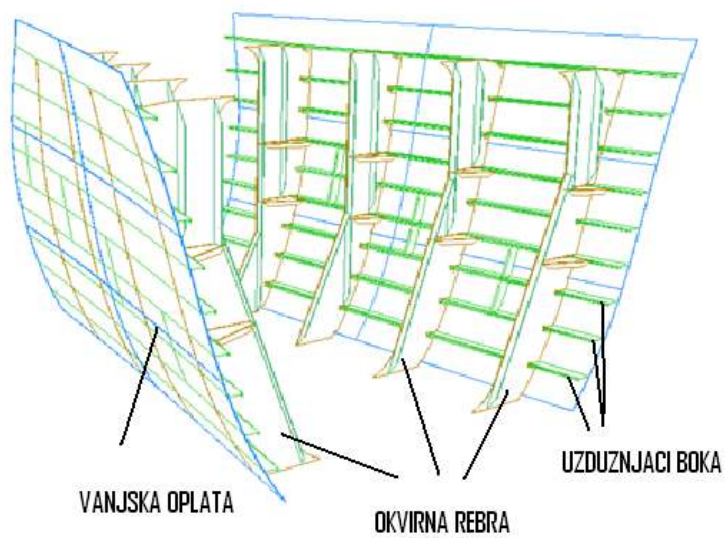
U drugoj fazi se pozicioniraju uzdužnjaci i sponje sa pripadnim koljenima na palubi te uzdužnjaci i vertikalni T profili na poziciji rebara na pregradi. Prvo se montiraju uzdužnjaci a zatim poprečna struktura. Ti elementi se na identičan način postavljaju, a to obuhvaća: pozicioniranje na trasirane pozicije uz pomoć dizalice, pritiskivanje zbog izbjegavanja zračnosti (uz pomoć privremeno zavoranih pomoćnih elemenata i autodizalice ili ručne hidrauličke pumpe) i privarivanje REL-om sa zavarom od cca 30 mm na udaljenosti od svakih 500 mm sa svake strane profila. Nakon privarivanja svih elemenata kreće se sa zavarivanjem MAG-om te na kraju brušenje zavora na propisani standard i zavarivanje uški za transport.

Kada je struktura panela uzdužne pregrade zavorena, okreće se za 180° te se s druge strane limovi zavaruju EPP automatom. Nakon što su svi sučeljni I spojevi pregrade zavoreni, uklanjaju se pomoćne pločice na početku i na kraju svakog zavora te se zavaruju uške za transport. Sljedeći korak je montaža pregrade na panel 2. palube. Pregrada se podiže uz pomoć dizalice te se pozicionira na trasiranu poziciju. Dizalica pridržava pregradu dok se ne privari i pričvrsti da može samostalno stajati. Privaruje se REL-om, a potpuno zavarivanje vrši se MAG metodom, te se na kraju brusi na propisanu kvalitetu i miču se svi pomoćni elementi. Panel palube mora u potpunosti biti zavoren jer je kasnije gotovo nemoguće poduprti čitavu sekciju u položaju za montažu i zavariti gornji dio palube. Panel pregrade mora se također potpuno zavariti prije montaže u sekciju zbog nedostatka prostora i nepovoljnog položaja u sklopljenoj sekciji.



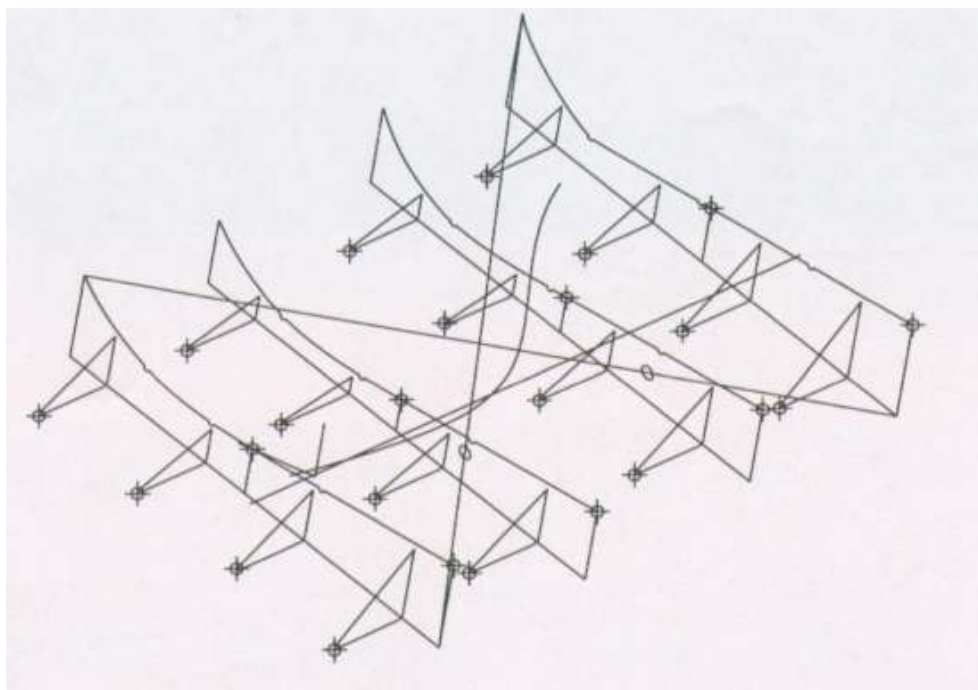
Slika 49. Izometrijski prikaz podsekcije A

Dok traje zavarivanje panela izrađuju se nadskolpovi N51 i N52.



Slika 50. Izometrijski prikaz nadsklopova N51 i N52

Sastoje se od vanjske oplata, uzdužnjaka boka i profila okvirnih rebara sa pripadajućim koljenima. Izrada tih sklopova vrši se na kolijevkama. Kolijevka se sastoji od limova izrezanih prema podacima iz ureda za numeričko trasiranje sa pripadajućim koljenima. Zakrivljena vanjska oplata opisuje jednu zakrivljenu plohu u prostoru. Na tu ravninu se ocrta kontura rebra i šavova oplata sekcije te se dobiju krivulje za svako rebro i za početni i završni šav. Upravo te krivulje su gornji rub lima kolijevke na koje će se postaviti limovi oplata dok su ostala tri brida lima kolijevke pravocrtne. Mora se paziti kod pozicioniranja kolijevke da razmak između pojedinog segmenta bude kao što je i propisan tehnološkom uputom, tj. na udaljenosti svakog rebra ili svakog drugog ili kako je određeno. To se provjerava tako da se potegne tanko uže po obje dijagonale od prvog lima do posljednjeg s time da na predzadnjem limu kolijevke postoji mala rupa kroz koju uže mora proći a bez da se lomi. Dijagonalama je konstrukcija kolijevke definirana i postavljanje limova oplata može početi. Razlog korištenja kolijevke a ne potklada jest taj što ta zakrivljena ploha ima značajnu zakrivljenost i nema niti jedan dio koji je ravan koji bi mogao poslužiti kao referentna ravnina za postavljanje potklada. Također kasnije kada se postavi struktura na limove oplata to sve ima određenu težinu i bilo bi preveliko opterećenje za potklade pa se zbog toga stavlja kolijevka koja zavarena za radnu platformu ima veću nosivost.



Slika 51. Grafički prikaz kolijevke sa dijagonalama za kontrolu

Na postavljenu kolijevku postavljaju se limovi oplata tako da unutarnji dio oplata gleda prema gore. Pozicioniraju se i privaruju za limove kolijevke da bi ostali na mjestu, a također se fiksiraju i mostićima te pomoćnim elementima. Limovi oplata se zavaruju MAG metodom što podrazumijeva prethodno postavljanje keramičke podloge sa donje strane sučelnog V spoja. Po završetku zavarivanja trasiraju se pozicije uzdužnjaka i poprečnih elemenata – rebara. Sljedeći korak je postavljanje uzdužnjaka i rebara sa pripadnim koljenima. Profili se pozicioniraju i pritišću pomoću privremeno zavarenih elemenata i autodizalice ili hidraulične pumpe, privaruju se REL-om sa zavarom od cca 30 mm na udaljenosti od svakih 500 mm sa svake strane profila. Na kraju se cijela struktura zavaruje MAG-om i brusi na propisanu kvalitetu te se postavljaju uške za transport. Kada je sve završeno privremeni zavari između lima oplata i kolijevke se odrežu i cijeli nadsklop je slobodan.

Završna faza izrade ove sekcije je spajanje palube, pregrade i dva nadsklopa. Prvo što se spaja jest paluba i uzdužna pregrada. Paluba je položena na radnu platformu u položaju obrnutom od položaja montaže dok se pregrada dizalicom diže i postavlja na poziciju. Kada je pregrada pozicionirana na prethodno obilježenu poziciju, privaruje se i pripaja sa privremenim pomoćnim elementima i malo dužim zavarima (cca 500-1000 mm) dok ne postane stabilna i u mogućnosti da samostalno stoji. Nakon pregrade montiraju se bočni nadsklopovi. Montiraju se također uz pomoć dizalice i pomoćnih alata. Bitno je kod te montaže da se poprečni elementi (sponje, rebara i vertikalni profili pregrade) poklope i da se mogu privariti jer oni jedino drže nadsklopove u uspravnom položaju. Jednom pozicionirane podsekcije i nadsklopovi zavaruju se MAG-om te se zavari bruse na propisanu kvalitetu.

Na kraju se miču svi pomoćni i privremeno zavareni elementi te se ugrađuje oprema koje je predviđena uranjenim opremanjem. Zavaruju se uške za transport i gotova sekcija se transportira, u položaju obrnutom od položaja montaže na novožu, na antikorozivnu zaštitu i bojanje.

Izrada ove sekcije je dislocirana od samog pogona brodogradilišta. Izrađuje se u susjednom brodogradilištu i transportira se plovnom dizalicom. Dimenzije potrebne za izradu sekcije su mnogo veće nego je sam tlocrt sekcije koji iznosi 11,2 m x 11,6 m. Razlog tomu je paralelna izrada 2 panela i 2 nadsklopa koja uzimaju poprilično radne površine. Upravo zato se ova sekcija prepustila van pogona da bi se u samom pogonu moglo izrađivati više sekcija koje

zauzimaju manje radnoga prostora. Predviđena površina za izradu ove sekcije je 4 puta veća nego što je tlocrt same sekcije.

Masa gotove i opremljene sekcije iznosi 64 tone i što se transporta tiče nema nikakvih ograničenja jer sve dizalice pogona imaju znatno veću nosivost. Sekcija 3251 ne ide na daljnje ukрупnjavanje jer to nije predviđeno planom sekcija već ide direktno na montažu na navoz ili u skladište sekcija.

Izrada nadskepova sekcije 3251 zahtijeva 10 ljudi, podijeljenih po zanatima: 4 brodomontera, 4 zavarivača i 2 brusača. U izradi sudjeluju i operateri vanjskih i radioničkih dizalica.

Vrijeme potrebno za izradu ove sekcije je 24 radnih dana. Podaci su uzeti kao prosjek dostupnih podataka iz brodogradilišta.

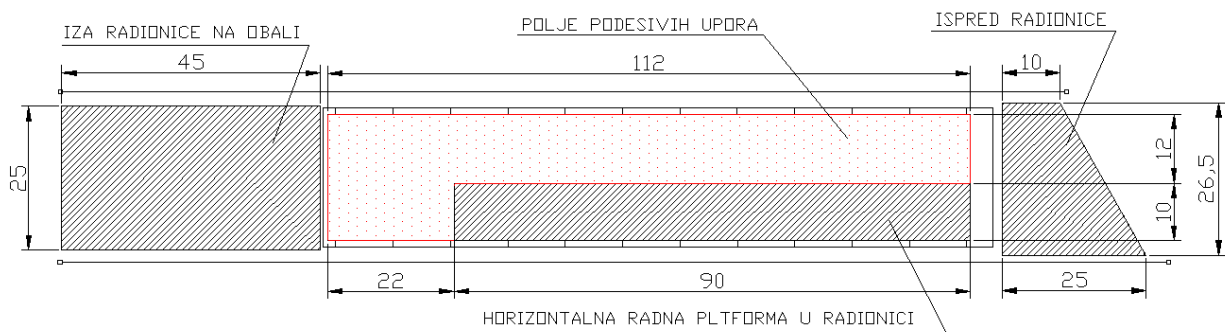
6. IZRADA ZAKRIVLJENIH SEKCIJA NA PODESIVIM UPORAMA

Za prethodno odabrane specifične zakrivljene sekcije razraditi će se mogućnost njihove izrade na podesivim uporama, tako zvanim jiggovima, slika 52.



Slika 52. Izrada zakrivljenih sekcija na podesivim uporama (jiggovima)

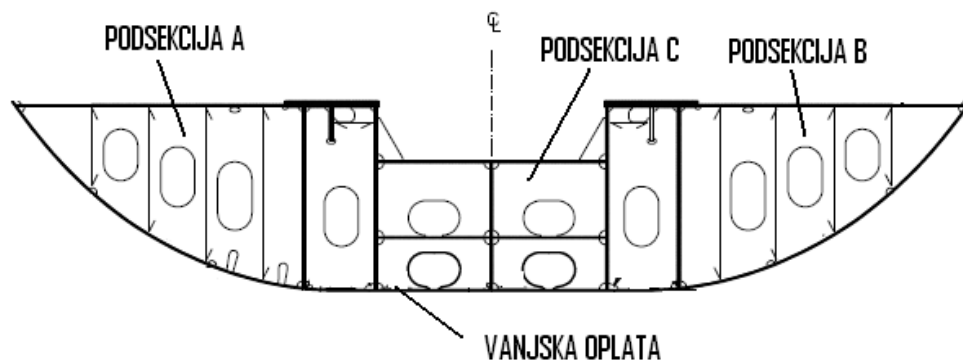
Suština takve izrade je da se na uporama koje se mogu regulirati po visini položi vanjska oplata te se na nju stavlja struktura, uzdužnjaci i poprečnjaci, te se na oplatu kasnije stavljaju sklopovi i nadsklopovi. Upore bi bile smještene na metar razmaka uzdužno i poprečno i pokrivale bi površinu od 112 m duljine, koliko je čitava duljina radionice P2 i širine od 12m do 22m koliko je i maksimalna širina hale. Ovaj dio od 12m širine bi se protezao kroz 80% duljine hale (90m) da bi omogućio prostor sa strane od 10 m širine za izadu ravnih sklopova na ravnoj podlozi i za skladištenje materijala i opreme. Ostali dio radionice namjenjen bi bio za izradu velikih zakrivljenih sekcija ili izradu dvije manje istovremeno. Skica rasporeda radnih površina prikazana je na slici 53.



Slika 53. Raspored radnih površina u hali P2

6.1. Analiza izrade sekcije 2021 (dvodno strojarnice R35- 53) gradnje 476 na podesivim uporama

Izrada ove sekcije započela bi postavljanjem vanjske oplata na podesive upore. Slikom 54. prikazan je položaj sekcije u izradi, tj. u položaju montaže.



Slika 54. Sekcija 2021 u položaju montaže

Da bi se taj korak mogao napraviti ispravno potrebno je iz ureda za numeričko trasiranje dobiti podatke o visini određene upore. Te visine se dobiju tako da se vanjska oplata računalnim programom podijeli uzdužno i poprečno zamišljenim linijama koje sada nisu striktno vezane za šavove i stikove ili rebra i vodne linije nego su međusobno razmaknute za 1 m koliko je razmak između upora. Jedino referentna linija kao što je npr. CL i barem jedno rebro mora biti na upori da bi se sekcija točno pozicionirala na polju upora. Na tako dobivenoj mreži odredi se najniža točka i kroz nju se stavlja zamišljena referentna ravnina koja je okomita na ravninu xy na CL-u broda. Udaljenosti od te ravnine do čvora u mreži je visina upore. Najniže točke sekcije koje se nalaze na CL moraju biti uzvišene barem 1 – 1,2 m od poda hale da bi se radnik mogao zavući ispod sekcije i obavljati određene operacije. Iz toga slijedi da su stvarne visine upora, udaljenosti od referentne ravnine do čvora mreže uvećane za minimalnu visinu od 1-1,2 m. Visina upora regulira se navojem tj. vrtnjom poluge u smjeru kazaljke na satu ili obrnuto i na taj način se, uz pomoć navoja, visina upore mijenja. Upore su učvršćene za podlogu i imaju zavarena dodatna koljena koja doprinose stabilnosti čitave konstrukcije.

Na podešene upore postavljaju se limovi vanjske opate koji su prethodno obrađeni i koji su bili u međuskladištu zakrivljenih limova. Postavljanje se vrši uz pomoć dizalice i prvo se postavlja voj na CL i od njega slijedom vojevi lijevo i desno do voja koji se spaja sa nadsklopom N51 i N52. Pozicioniranje lima vrši se na način da se lim kada se postavi na upore privari za ležaj upore. Kao dodatno osiguranje spoja koriste se i zavareni mostići sa donje strane oplata koja gleda prema podu hale. Da bi spoj bio točan i po visini, tj. da se niveliraju dva susjedna lima zavaruju se pomoćni elementi i uz pomoć nabijanja klina dobije se željena visina lima. Kada su limovi pozicionirani i fiksirani sa donje strane postavlja se keramika i pomoćni metalni elementi i drveni klinovi koji drže tu keramiku na mjestu jer se pokazalo da ljepilo koju ima ta keramička podloga nije pouzdano.

Sljedeći korak je zavarivanje pozicionirane oplata. Zavaruje se prvo korijen zavora i to MAG-om, a kasnije se zavar puni EPP automatom. Dok traju operacije zavarivanja vanjske oplata kreće se sa izradom podsekcije C.

Izrada podsekcije C vrši se u djelu radionice gdje nema upora tj. na radnoj platformi na željezničkim šinama. Baza za izradu centralnog dijela podsekcije je pokrov dvodna. Na njega se trasiraju pozicije hrptenice i poprečnih elemenata, dijelovi rebrenice sa lijeve i desne strane. Na

označene pozicije, uz pomoć dizalice, privaruje se prvo hrptenica a zatim svi dijelovi rebrenica. Sve se privaruje REL-om a zatim se zavaruje MAG-om te se na kraju brusi na propisanu kvalitetu. Dok traju operacije zavarivanja i brušenja, kreće se sa izradom bočnih dijelova podsekcije C, koji su posve simetrični.

Izrada kreće postavljanjem lima hrptenjaka 1 na radnu platformu. Trasiraju se pozicije dijelova rebrenica na limu te se iste privaruju REL-om. Montiraju se i pojačanja, tj. trake na poziciji hrptenjaka 2. Zavarivanje svih montiranih dijelova vrši se MAG-om te se po završetku zavarivanja svi zavari bruse. Sljedeći korak je postavljanje lima pokrova bočnog dijela podsekcije, tj. limovi temelja glavnog stroja. Uz pomoć dizalice i pomoćnog brodomonterskog alata, hidrauličke dizalice i autodizalice te uz pomoć privremeno zavarenih elemenata, lim se pozicionira na već izrađeni skop te se privaruje za rebrenicu i hrptenjake 1 i 2. U međuvremenu, dok se svi spojevi bočnih dijelova podsekcije C zavaruju MAG-om i dok se ne pobruse, centralni dio podsekcije dosad montiran je zavaren i pobrušen. Na dijelove rebrenica centralnog dijela postavljaju se limovi dna gornjeg tanka, lijevo i desno od hrptenice. Privaruju se za hrptenicu i sa donje strane za dijelove rebrenica. Nakon pozicioniranja limova i trasiranja pozicija dijelova rebrenica, rebrenice se pozicioniraju i privaruju za hrptenicu i za lim dna gornjeg tanka REL-om. Kada je sve privareno kreće se sa zavarivanjem MAG-om i brušenjem svih zavara osim spoja lima dna gornjeg tanka i gornjih dijela rebrenica između hrptenice i hrptenjaka 1. Taj spoj se zavaruje kada se podsekcija C okrene i pozicionira na vanjsku oplatu. Kada su sve do sad montirani dijelovi podsekcije zavareni i pobrušeni slijedi njihovo spajanje u jedinstvenu podsekciju. Desni bočni dio podsekcije okreće se za 180° tako da sada hrptenjak 1 gleda prema gore. Slijedi trasiranje točne pozicije centralnog dijela podsekcije C i njena montaža na bočni skop. Privaruje se REL-om zavarima sa svake strane od cca 30 mm na svakoj drugoj rebrenici. Tako fiksirana dva sklopa se zavaruje MAG-om te se brusi na propisanu kvalitetu. Kada su operacije zavarivanja i brušenja gotove slijedi spajanje lijevog bočnog dijela podsekcije C na isti način kao i desna bočna strana podsekcije C.

Dok traju operacije zavarivanja i brušenja sklopova podsekcije C, paralelno se montiraju podsekcije A i B. Baza za izradu navedenih podsekcija je pokrov dvodna. Svaka podsekcija sadrži dva lima koje treba pozicionirati i pripojiti. Sučeljni I spojevi zavaruju se EPP automatom samo s jedne strane, dok se druga strana također zvaruje EPP automatom kada se podsekcija

montira na vanjsku oplatu. Nakon zavarivanja trasiraju se pozicije rebara i pozicije uzdužnih pojačanja i traka. Rebrenice sa pripadnim ukrepama su prethodno izrađene u radionici male predmontaže i kao gotovi sklopovi se montiraju na krov dvodna. Pozicioniranje rebrenica vrši se uz pomoć dizalice i pomoćnih brodomonterskih alata. Nakon što je rebrenica pozicionirana privaruje se sa REL-om. Također potrebno je pozicionirati i hrptenjak 3 te ga privariti za pokrov dvodna i za prethodno privarene rebrenice. Nakon što je sve pozicionirano i privareno slijedi zavarivanje MAG-om te kasnije brušenje svih zavora na propisanu kvalitetu.

Vanjska oplata koja se nalazi na pomičnim uporama je zavarena i spremna za montažu podsekcija. U međuvremenu dok traje zavarivanje podsekcija A i B kreće montaža podsekcije C na unutarnju stranu vanjske oplata. Na vanjsku oplatu trasira se točna pozicija montaže podsekcije te se montira uz pomoć dizalice. Da bi se točno pozicionirala podsekcija C potrebno je na nekoliko mjesta na oplati zavariti pomoćne elemente koje služe da se pomoćni monterski alati, npr. ručna hidraulična dizalica ili autodizalica, mogu uprti i na taj način pozicionirati podsekciju na točnu poziciju. Jednom pozicionirana podsekcija se privaruje za oplatu sa kratkim zavarima od cca 30 mm REL-om na svakom drugom rebro sa svake strane rebrenice. U ovom položaju sada se spoj između dijelova rebrenica i lima dna gornjeg tanka može zavariti jer je u povoljnom položaju, tj. zavori više nisu nadglavno. Navedeni spoj i spoj podsekcije i oplata se zavaruje MAG-om te se nakon zavarivanja sve brusi na propisanu kvalitetu.

Nakon što su podsekcije A i B zavarene i nakon što je montirana oprema koja je predviđena uranjenim opremanjem, slijedi njihova montaža na oplatu. Dizanje tih podsekcija nije moguće sa dizalicom koja se nalazi u radionici, već uz pomoć vanjske dizalice koja ima nosivost 150 t, podsekcije A i B se podižu, okreću i montiraju na trasirane pozicije na oplati. Pozicioniranje se kao i kod podsekcije C vrši pomoćnim monterskim alatom i privremeno zavarenim pomoćnim elementima. Pozicionirane podsekcije se privaruju za oplatu prvo na početnoj i krajnjoj rebrenici sa zavarima dugim cca 30 mm međusobno udaljenih cca 500mm REL-om. Također prije nego se maknu svi pomoćni monterski alati, potrebno je uvući se u podsekciju i privariti sa nekoliko kratkih zavora svaku rebrenicu za oplatu i također privariti svaki dio rebrenice podsekcije C za hrptenjak 3 podsekcije A, odnosno B. Privarene podsekcije mogu se u potpunosti zavariti MAG-om u povoljnom položaju za zavarivanje. Na kraju zavori se moraju pobrusiti na propisanu kvalitetu.

Paralelno sa zavarivanjem podsekcija A i B za vanjsku oplatu, zavaruje se spoj limova krova dvodna. Zavari se ispunjuju automatom EPP. Završna faza izrada ove sekcije obuhvaća zavarivanje uški za transport, jer transport se vrši u položaju montaže. Zadnji korak jest transport sekcije kroz otvor radionice vanjskom 150 tonskom dizalicom na antikorozivnu zaštitu i daljnje ukрупnjavanje.

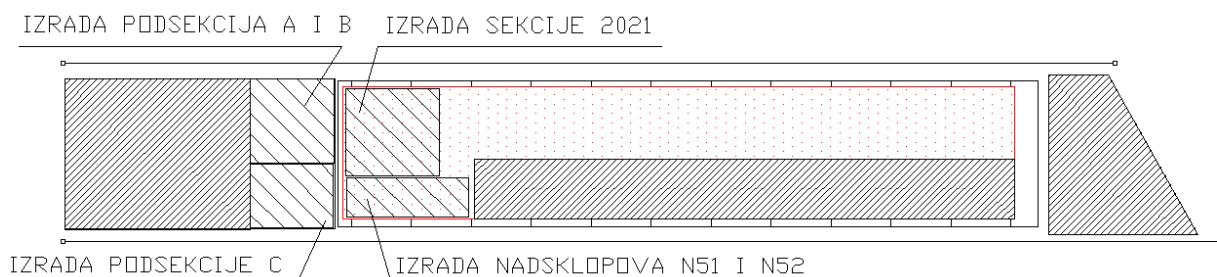
Ova sekcija sadrži i dva nadsklopa koja se montiraju na sekciju u fazi ukрупnjavanja. Razlog tomu je što radionicu u kojoj se sekcija izrađuje ne opskrbljuje dizalica dovoljne nosivosti da bi podigla čitavu sekciju. Za gotovu sekciju potreba je dizalica nosivosti 200 tona, a radionicu opskrbljuje dizalica nosivosti 150 t.

Nadsklopovi N51 i N52 se sastoje od dva voja lima vanjske oplate koja je zakrivljena ploha, od rebara, okvirnih rebara sa pripadajućim koljenima te od limova proveze. Izrada kreće pozicioniranjem limova na pomične upore na isti način kao i kod limova vanjske oplate prethodno izrađene sekcije dvodna strojarnice. Limovi se pozicioniraju i fiksiraju za upore. Sa donje strane limova postavljaju se privremeni mostići za čvršći spoj te zavaruju pomoćni elementi kojima se uz pomoć klinova može regulirati visina pojedinog lima, da bi spoj bio što točniji. Na namješten spoj se s donje strane priljepljuje keramika i osigurava se uz pomoć drvenih klinova koji pridržavaju keramički oblogu, te se na početku i na kraju budućeg zavora zavaruje pomoćna pločica koja služi za upućivanje EPP automata. Korijen zavora zavaruje se MAG-om dok popunjavanje zavora ide EPP automatom. Kada su limovi zavoreni trasiraju se pozicije rebara te se uz pomoć dizalice i pomoćnog monterskog alata pozicioniraju na svoja mjesta. Privare se REL-om sa kratkim zavarima od cca 30 mm međusobno udaljenih cca 1000 mm sa obje strane profila. Na privarene profile montiraju se limovi proveze koji se isto privaruju REL-om, a također se privaruju i pripadajuća koljena. Sve pozicionirano i privareno se zavaruje MAG-om te se na kraju brusi. Dok traju operacije zavarivanja, brodomonteri uklanjaju privremene mostiće, keramiku i ostale pomoćne elemente. Nakon što su nadsklopovi zavoreni, stavljaju se uške za transport i nadsklopovi se oslobađaju od upora te se transportiraju na područje ukрупnjavanja gdje će biti ugrađeni u sekciju dvodna strojarnice.

Prostor potreban za izradu ove sekcije bez nadsklopova je 14,6 x 15,6 m. Budući da obje dimenzije premašuju širinu polja podesivih upora, predviđeno mjesto izrade je na kraju hale gdje su upore po cijeloj širini hale. Podsekcije se mogu izrađivati na ravnoj radnoj platformi pored

zakrivljene sekcije, ali mogu se i neovisno izrađivati bilo gdje u brodogradilištu samo pod uvjetom da dohvati dizalica omoguće transport. Naravno najidealnije bi bilo što bliže mjestu izrade sekcije zbog manjih komplikacija i manjih troškova transporta. Zbog toga predviđeno mjesto izrade podsekcije C je izvan hale odmah pored izrade sklopa vanjske oplata. Podsekcije A i B izrađivale bi se također s vanjske strane hale odmah do mjesta izrade vanjske oplata, jer svojim dimenzijama bi previše mjesta zauzele unutar radionice i na taj način kočile izradu ostalih sklopova za ostale sekcije.

Nadsklopovi N51 i N52 se izrađuju odmah pokraj sekcije. Dimenzije koje su potrebne za izradu oba nadsklopa su 8 x 14,6 m i mogu se izrađivati bilo gdje u polju podesivih upora jer dimenzija od 8 metara širine to dozvoljava. Slika 55. pokazuje skicu rasporeda potrebnih radnih površina za izradu sekcije dvodna.



Slika 55. Površine predviđene za izradu sekcije 2021 u hali P2

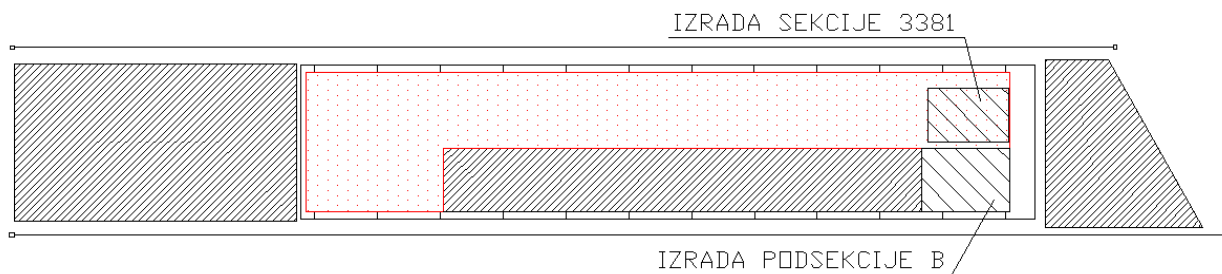
6.2. Analiza izrade sekcije 3381 (oplata boka dolje R Z-11) gradnje 476 na podesivim uporama

Tijek izrade ove sekcije na podesivim uporama razlikuje se od njene izgradnje na ravnoj radnoj platformi po tome što se vanjska oplata zavaruje samo s jedne strane i što nema okretanja sekcije. To znači da se oplata boka, koje je baza za izradu ove sekcije, pozicionira na upore te se fiksira. Pozicioniranje i pričvršćivanje limova opločenja koji čine bazu za izradu sekcija je identičan za sve sekcije. Dobivanje podataka za podešavanje visina upora također se dobivaju na identičan način za sve sekcije kao što je prethodno opisano u izradi sekcije 2021. Improviziranih upora za zakrivljeni dio sekcije, kao kod izrade na ravnoj radnoj platformi, nema i točnost visina upora je veća.

Limovi oplata boka se pozicioniraju na podesive upore tako da vanjska oplata gleda prema dolje te se pričvršćuju privremenim zavarima za upore. Spojevi između limova koji su izvedeni kao sučeljni V spojevi se pričvršćuju zavarenim mostićima s donje strane a sa privremeno zavarenim elementima i nabijanjem klinova se regulira visina spoja. Nakon što su limovi fiksirani, sa donje strane postavlja se keramička obloga te se zavaruje MAG metodom. Na oplatu boka se, kada je zavarena, montira i zavaruje struktura te se montiraju sklopovi i podeskija B na isti način kao i kod ravne radne platforme.

Podsekcija B te sklop zrcala krme izrađuju se pored sekcije koja se nalazi na uporama. Zbog specifičnosti podsekcije B potrebno ju je okretati kako bi se pojedini spojevi koji su bili nadglavno mogli zavariti u povoljnijem položaju. Okretanje podsekcije B vrši radionička dizalica nosivosti 12,5 t.

Dimenzije oplata sekcije su 12,7 x 8,4 m te je njen smještaj moguć bilo gdje na podesivim uporama. Podsekcija B i sklopovi izrađuju se pored sekcije na ravnoj radnoj platformi i zauzimaju površinu od 14 x 10 m. Raspored potrebnih radnih površina za ovu sekciju boka prikazan je na slici 56.



Slika 56. Površine predviđene za izradu sekcije 3381 u hali P2

6.3. Analiza izrade sekcije 3251 (2. paluba R 217- R 229) gradnje 476 na podesivim uporama

Ova sekcija sastoji se od dvije podsekcije A i B koje se izrađuju na potpuno identičan način kao što je opisano u prethodnoj točki i od dva nadskolpa N51 i N52. Podsekcije A i B su ravni paneli i na njima nema nikakav utjecaj uvođenje podesivih upora. Limovi se pozicioniraju, pričvršćuju i zavaruju EPP automatom te se na njima postavlja struktura, uzdužnjaci, poprečni elementi, ukrepe i koljena. Prije završnog sklapanja sekcije paneli moraju biti u potpunosti zavareni jer kasnije nije moguće zavarivanje u povoljnom položaju ili čak nije uopće moguće zavarivanje zbog tijesnog prostora.

Nadsklopovi N51 i N52 su dio zakrivljene vanjske oplata broda prema pramcu između rebra 217 i 229. Oblik pramca diktira vrlo zakrivljenu plohu u više smjera i zbog toga su potrebne podesive upore da bi se izradili dotični nadsklopovi. Oba nadsklopa izrađuju se paralelno i u položaju da vanjska oplata gleda prema dolje.

Izrada kreće sa pozicioniranjem limova na podesive upore. Visine upora dobiju se na već poznati način. U uredu numeričkog trasiranja, pomoću računalnog programa, uzme se kontura zakrivljene plohe vanjske strane oplata te se na nju postavlja zamišljena mreža linija koje su međusobno udaljene 1 m koliko su međusobno udaljene i upore u radionici. Uzima se jedna

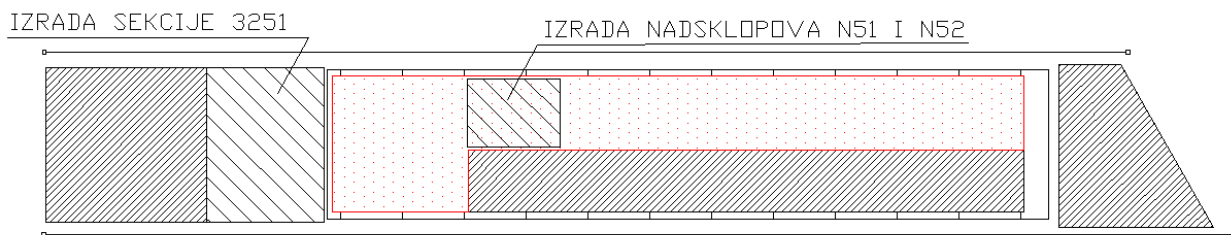
referentna linija na sekciji, jedno od rebara, koja moraju biti na jednoj liniji upora kako bi se nadsklop točno pozicionirao na polju upora. Na tako dobivenoj mreži odredi se najniža točka i kroz nju se stavlja zamišljena referentna ravnina koja je paralelna sa ravninom xz na CL-u broda. Udaljenosti od te ravnine do čvora u mreži je visina upore. Najniže točke sekcije koje se nalaze na referentnoj ravnini moraju biti uzvišene barem 1 – 1,2 m od poda hale da bi se radnik mogao zavući ispod sekcije i obavljati određene operacije. Iz toga slijedi da su stvarne visine upora, udaljenosti od referentne ravnine do čvora mreže uvećane za minimalnu visinu od 1-1,2 m.

Pozicioniranje limova vrši se uz pomoć dizalice u radionici i uz pomoć monteraškog alata, ručne hidraulične pumpe i autodizalice te uz pomoć privremeno zavarenih elemenata. Limovi se privaruju za upore te se uz pomoć privremeno zavarenih elemenata i klinova niveliraju da bi se njihov spoj što kvalitetnije zavario. Nakon što su pozicionirani, limovi se međusobno pričvršćuju mostićima koji se zavaruju REL-om sa donje strane. Sljedeći korak je postavljanje keramičke podloge s donje strane sučelnog V spoja. Keramička podloga se lijepi za rub lima i po potrebi dodatno se pričvršćuje drvenim klinovima i postojećim mostićima. Prvo se zavaruje korijen zvara te se naknadno zavar puni do propisanog standarda. Sve operacije zavarivanja vrše se MAG-om jednostrano.

Kada je zavarivanje šavova i stikova vanjske oplave završeno kreće se sa trasiranjem pozicija uzdužnjaka i poprečnih elemenata. Na trasirane pozicije prvo se postavljaju uzdužnjaci boka. Jedan po jedan se uz pomoć dizalice pozicioniraju na svoju poziciju, pritišću se uz pomoć privremeno zavarenih elemenata i ručne poluge te se privaruju za lim oplave zavarima duljine cca 30 mm na svakih metar razmaka sa obje strane profila. Privaruju se REL-om. Na isti se način postavljaju i poprečni elementi, rebara. Operacija zavarivanja profila za limove oplave također se vrši MAG-om. Dok traje operacija zavarivanja profila za oplatu, brodomonteri postavljaju ukrepe, koljena i ostale manje elemente te uške za transport na svoje pozicije koje se se zavaruju nakon uzdužnjaka i rebara. Svi zavareni spojevi moraju na kraju biti pobrušeni na propisanu kvalitetu. U toku operacija zavarivanja i brušenja, skidaju se privremeno zavareni elementi, mostići i ostaci keramičke podloge.

Prostor potreban za izradu ovih nadsklopova je 15 x 11 m. Budući da potrebna širina ne prelazi 12 m koliko je širina polja upora, izrada se može smjestiti bilo gdje na upore u radionici. Uz samo mjesto izrade nadsklopova potrebno je minimalno mjesta, 1 do 2 m širine, na ravnoj

radnoj plohi za skladištenje profila i na taj način ostavlja se mjesta drugim složenijim sekcijama koje su paralelno u izradi.



Slika 57. Površine predviđene za izradu sekcije 3251 u hali P2

Izrađeni nadsklopovi transportiraju se izvan radionice gdje će biti sklopljeni u gotovu sekciju. Transport gotovih nadsklopova do mjesta sklapanja sekcije vrši se vanjskom dizalicom koja opskrbljuje radionicu nosivosti 45t. Sklapanje čitave sekcije 3251 radi se na identičan način kao što je opisano u prethodnoj točki. Mjesto sklapanja je predviđeno na prostoru između radionice i morske obale a transport na antikorozivnu zaštitu plovnom dizalicom.

6.4. Analiza izrade sekcije 4052 (pramac – 6. paluba R 240- R 260) gradnje 476 na podesivim uporama

Ova vrlo specifična i konstrukcijski složena sekcija bilo bi gotovo nemoguće izraditi na podesivim uporama iz nekoliko razloga. Kada bi ovu sekciju izrađivali u položaju montaže, tada 6. paluba ne bi bila baza za izradu, već bi bio pokrov sekcije. To nije izvedivo jer cijela lepezasta struktura pramca, rebra, okvirna rebra, spremište lanca, lančani otvori i upore tada ne bi imali podlogu za koju bi ih mogli zavariti. Svaki pojedini element bi se teoretski morao poduprti improviziranim elementima i na improvizirani način što bi bitno produljilo i zakompliciralo izradu sekcije.

Izrada sklopa vanjske oplata sa lepezastim rebrima teoretski je moguća na podesivim uporama ali postoje dva problema. Prvi problem je taj što kada bi takav sklop montirali na palubu pramca, zavarivanje nekih spojeva ne bi bio moguć zbog tijesnog prostora. To se odnosi na spojeve rebra i koljena na palubi uz voj lima na šestoj palubi, zatim spojevi koji se odnose na strukturu iznad otvora za lanac te spojevi kod proveze 5. palube. Drugi problem je montaža dijelova proveze 5. palube. U procesu izrade njih privremeno pridržavaju upore koje se kasnije uklanjaju. Mogle bi se proveze montirati prije sklopa vanjske oplata ali onda bi prilikom montaže vanjske oplata sa rebrima bilo teško pogoditi svaki utor na provezi da bi profil rebra ušao u njega. Naime govorimo o milimetarskim tolerancama, ali u stvarnosti su to mnogo veća odstupanja i bilo bi jako teško namjestiti vanjsku oplatu i provezu.

Dimenzije ove sekcije također onemogućuju njenu izradu, tj. smještaj na polje upora. Naime dimenzijama od 25,3 x 13,2 m sekcija bi se mogla teoretski smjestiti na predviđeno polje upora ali onda bi zauzela mjesta za druge sekcije koje bi se mogle izrađivati na istom mjestu. Za tu površinu mogu se izraditi 2 manje zakrivljene sekcije. Vremensko razdoblje potrebno za izradu sekcije pramca, 12 tjedana, je ekvivalent za izradu 5 ili 6 manjih sekcija primjerice oplata boka na istom mjestu.

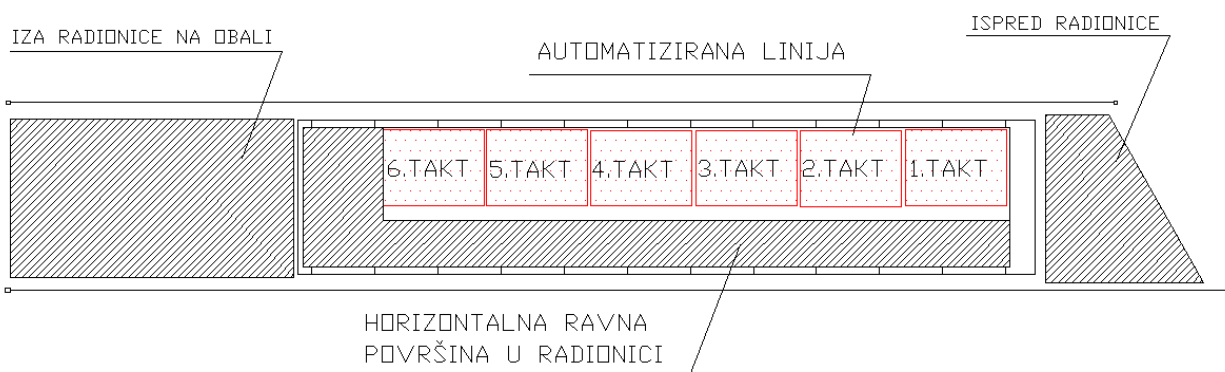
Predviđeno mjesto za izradu ove sekcije je radionica P3 koja nije opremljena podesivim uporama, već samo ravnom radnom plohom. Mjesto izrade je pokriveno dizalicama velikih nosivosti i način izrade ostaje isti, tj. u položaju obrnutom od položaja montaže na navozu.

7. AUTOMATIZIRANA LINIJA ZA IZRADU ZAKRIVLJENIH SEKCIJA

Automatizirana proizvodna linija za izradu zakrivljenih sekcija predstavlja dio predmontaže sekcija broskog trupa i odvija se kao serijska proizvodnja pojedinih tehnoloških operacija koje su međusobno odvojene ali slijede jedna iza druge. Tehnološki tok izrade zakrivljenih plošno-volumenskih sekcija u radionici P2 odvijao bi se na način da se oblikovani elementi limova i profila, te sklopovi i nadsklopovi ugrađuju u zakrivljene sekcije na protočnoj liniji.

Proizvodni proces linije zakrivljenih sekcija je organiziran na šest radnih stanica na kojima se odvijaju sljedeće operacije:

1. stanica: montaža i privarivanje oblikovanih limova
2. stanica: zavarivanje limova na nagibajućem radnom stolu
3. stanica: montaža i privarivanje ukrepljenja (oblikovanih profila)
4. stanica: zavarivanje ukrepljenja
5. stanica: montaža i privarivanje sklopova i nadsklopova
6. stanica: zavarivanje sklopova i nadsklopova i iskreaj gotovih elemenata



Slika 58. Površine predviđene za automatiziranu liniju u hali P2

Specifičnost ove linije su platforme s podesivim uporama po visini na koje se postavljaju sekcije. Radne platforme koje se kreću od stanice do stanice su dimenzija 16 x 12 m sa cca 200 komada mehaničkih upora što osigurava čvrstu potporu za sve aktivnosti kojima se na njima obavljaju. Nosivost platforme je 60 tona, dok je njena vlastita težina 30 tona. Svaka radna platforma preko lančanog sustava putuje do sljedeće radne stanice i kad dođe do kraja, nako što je oslobođena od izrađene sekcije, uz pomoć dizalice pokraj hale nosivosti 45 tona se prebacuje na početnu stanicu. Radne platforme su upravljane preko upravljačkih pultova koji su smješteni uz liniju.

7.1. Analiza izrade sekcije 221 (dvodno strojarnice R35- R53) gradnje 476 na automatiziranoj liniji

Ova specifična sekcija dvodna ne može se u potpunosti izraditi na predviđenoj automatiziranoj liniji za izradu zakrivljenih sekcija. Razlog je njena velika masa, tj. nosivost radnih platformi (60 t) koja je puno manja od mase sekcije (169 t). Budući da samo ova sekcija područja strojarnice premašuje 60 tona postoji mogućnost da se na liniji izradi samo sklop vanjske oplata te da se zavarena oplata kasnije iznese uz pomoć vanjske dizalice na neko drugo mjesto sa podesivim uporama i da se tamo nastavi sa izradom čitave sekcije.

Izrada sklopa vanjske oplata započinje pozicioniranjem limova na radnu platformu. Temeljem podataka iz ureda za numeričko trasiranje podesive se upore namjeste na isti način kao i kod neautomatizirane izrade zakrivljenih sekcija. Oblikovani limovi se iz međuskladišta uz pomoć radioničke dizalice postavljaju na formiranu radnu platformu gdje se oni centriraju i međusobno pripojno zavaruju. Kada su svi limovi sklopa prilagođeni i privareni tada se sa donje strane montiraju keramičke obloge spoja za kasnije MAG zavarivanje spoja. Nakon završenih aktivnosti platforma je spremna za transport na sljedeću radnu stanicu.

Kako bi se postigao što povoljniji horizontalni položaj operacije zavarivanja limova, na drugoj stanici instalirana je nagibna kruta okvirna konstrukcija koja se može nagibati u oba smjera preko hidrauličkih cilindara. Operacija nagibanja se kontrolira preko upravljačke ploče u

blizini radne stanice. Pomoću uređaja za zavarivanje koji se nalazi na konzolnoj dizalici vrši se operacija sučelnog V spoja limova. Zavaruje se MAG-om.

Nakon što je oplata dvodna zavarena, platforma putuje na treću radnu stanicu. Na toj stanici se u ovom slučaju ne obavljaju radnje predviđene na toj stanici. Tu se zavaruju uške za transport i skidaju privremeno zavareni elementi koji su služili za pozicioniranje limova. Gotov sklop vanjske oplate se oslobađa od radne platforme te se vanjskom dizalicom transportira na predviđeno mjesto izrade cijele sekcije. Daljni postupci identični su kao i kod izrade na neautomatiziranoj liniji.

Prazna radna platforma se vanjskom dizalicom vraća na početak automatizirane linije ili putuje do kraja linije ovisno o slobodnom mjestu na liniji. Putovanje kroz daljnje taktove imat će kao posljedicu neiskorištenu liniju i manju proizvodnost. Napomena: to je samo jedna od rijetkih sekcija koje premašuju 60 tona i takvi prazni hodovi linije nisu česti.

Nadsklopovi N51 i N52 ove sekcije izrađuju se zajedno na istoj radnoj platformi. Dimenzije koje zahtjeva izrada oba sklopa skupa su 8 x 14,6 m što ulazi u gabarite radne platforme. Prva dva takta su identična kao i kod sklopa vanjske oplate.

U prvom taktu limovi se pozicioniraju na platformu na način da vanjska strana oplate gleda prema dolje te se međusobno privaruju i pričvršćuju mostićima i privremenim pomoćnim elementima sa donje strane. Postavlja se keramička obloga sa donje strane spoja i platforma se šalje dalje na drugi takt.

U drugom taktu linije slijedi zavarivanje na nagibnom stolu. Platforma se nagiba uz pomoć hidrauličkih cilindara po potrebi kako zakrivljenost lima pita. Zavaruje se sučelni V spoj MAG-om. Nakon zavarivanja skidaju se mostići, ostali privremeni elementi i ostaci keramičke obloge te se zavareni limovi šalju na treći takt automatizirane linije.

U trećem taktu, tj. na trećoj radnoj stanici vrše se operacija pozicioniranja i privarivanja ukrepljenja, oblikovanih profila rebara. Montažni gentri opremljen je sa teleskopskom hidraulično podizno – rotirajućom gredom sa dva pomična hvatača za profile. Podizna greda može se rotirati, nagibati, spuštati i dizati, a upravljana je preko kontrolne ploče. Na montažnom gentriju se nalaze dva poluautomatska MAG uređaja za zavarivanje za potrebe privarivanja

profila. Uz radnu platformu osigurana je površina za skladištenje oblikovanih profila. Profili su složeni u palete koje se pune u međuskladištu nakon obrade i koje se dovode vanjskom dizalicom kroz pomični krov radionice. Nakon što su svi profili pozicionirani i privareni, zakrivljeni panel putuje na četvrtu radnu stanicu.

Četvrta radna stanica, odnosno četvrti takt je zavarivački takt. Zavarivački gentri je električki i pneumatski pogonjen, a njime se upravlja preko kontrolne upravljačke ploče. Gentri je opremljen sa dva poluautomatska MAG uređaja za zavarivanje i zavarivačkim EPP traktorom koji može zavrivati u svim smjerovima. Ovisno o jačini zakrivljenja i o propisanim tehnološkim uputama za zavarivanje koristi se jedna ili druga metoda. Zavarivačke glave na traktoru rade na principu klizno – plutajućeg sustava koji prati ukrepljenje.

Peta radna stanica predviđena je za montažu i privarivanje sklopova i podsklopova. Montaža se vrši uz pomoć radioničke dizalice a za privarivanje se koriste dva poluautomatska uređaja za zavarivanje ovješena na konzolnoj dizalici smještenoj uz stanicu. Tu se pozicioniraju i privaruju dijelovi proveze 2. plube i pripadna koljena. Budući da to nisu veliki elementi ni dimenzijama ni masom, njih nije komplicirano montirati i operacije na tom taktu su vrlo brzo gotove. Da bi se izbjeglo nepotrebno čekanje da se oslobodi sljedeća radna stanica koja je predviđena za zavarivanje sklopova i podsklopova, predviđa se zavarivanje proveza i koljena na petoj radnoj stanici budući da je ista opremljena uređajima za poluautomatsko MAG zavarivanje.

Nakon što su svi spojevi zavareni i pobrušeni, nadsklopovi N51 i N52 se oslobađaju od radne platforme te se uz pomoć vanjske dizalice nosivosti 50 tona transportiraju do obale gdje se dalje odvoze na mjesto ukрупnjavanja. Prazna radna platforma se uz pomoć dizalice vraća na početak linije.

7.2. Analiza izrade sekcije 3381 (oplata boka dolje R Z-R11) gradnje 476 na automatiziranoj liniji

Izrada ove sekcije na automatiziranoj liniji objedinjuje svih šest taktova te maksimalnu iskoristivost linije. Sekcija ima masu od 30 tona a dimenzije osnovice za izradu, limovi vanjske oplata, su 8,4 x 12,7 m. Dimenzija i masa sekcije nisu nikakvo ograničenje za radnu platformu te se može u potpunosti izraditi na radnim platformama automatizirane linije. Baza za izradu sekcije je vanjska oplata sa unutrašnje strane, tj. na radnoj platformi vanjska strana oplata gleda prema dolje.

Za izradu ove sekcije potrebna je jedna tehnološka promijena. Da bi se spojevi limova vanjske oplata, tj. šavovi i stikovi zavarili potrebna je drugačija priprema spoja nego kod izrade sekcije u položaju obrnutom od položaja montaže. Automatizirana linija zahtijeva jednostrano zavarivanje, a to omogućuje sučeljni V spoj, dok je prijašnjom metodom izrade sekcije priprema sučelnog I spoja zahtijevala okretanje sekcije i dvostrano zavarivanje EPP automatom.

Prvi takt. Izrada sekcija počinje pozicioniranjem limova vanjske oplata na podesive upore radne platforme. Limovi se postavljaju na prethodno podešene upore prema podacima iz ureda za numeričko trasiranje. Pričvršćuju se međusobnim privarivanjem te zavarenim mostićima sa donje strane koji osiguravaju stabilan spoj. Postavlja se keramička obloga sa donje strane spoja te ta ista podloga osigurava od otpadanja. Radna platforma sa pozicioniranim i fiksiranim limovima šalje dalje na zavarivanje.

Drugi takt. Zavarivanje šavova i stikova vrši se MAG automatom jednostrano. Radna platforma se naginje tako da glava uređaja za zavarivanja bude u što vertikalnije položaju. Kada su svi šavovi i stikovi zavareni, skidaju se mostići i ostaci keramike te se radna platforma šalje na treći takt.

Treći takt. Na zavarenu vanjsku oplatu trasiraju se pozicije rebara. U međuvremenu iz skladišta obrađenih profila dostavlja se paleta sa uskladištenim profilima. Gentry opremljen hvatačima profila uzima profil jedan po jedan te ga pozicionira na poziciju i stiže ga pomoću

magneta da bi se izbjegla zračnost između lima i profila. Stisnuti se profil privaruje MAG-om za oplatu sa kratkim zavarima od cca 20 mm sa svake strane profila međusobno udaljenih 500 mm. Kada su svi profili privareni radna se platforma šalje dalje na sljedeću radnu stanicu.

Četvrti takt. Privareni profili se zavaruju EPP traktorom sa obje strane istovremeno da ne bi došlo do deformacija i da se ubrza postupak zavarivanja. Dok traje postupak zavarivanja profila za oplatu, pored automatizirane linije sklapaju se sklopovi koji će se u sljedećem taktu montirati na zakrivljeni panel. To se odnosi na sklopove 4., 5. i 6. palube te na sklop zrcala. Elementi koji čine te sklopove načinjeni su u maloj predmontaži i njih je potrebno samo složiti u jedinstvene sklopove kako bi se mogli montirati na sekciju. Izrađuje se sklop 6. palube sa poprečnim pregradama i uzdužnom pregradom te ljestvama. Peta paluba i zrcalo načinjeni su u potpunosti u maloj predmontaži dok je 4. paluba T profil sa pripadnim koljenima kojeg treba samo montirati na zakrivljeni panel. Prostor potreban za skladištenje sklopova i izradu sklopa 6. palube je 13 x 8 m i u potpunosti stane u radionici pokraj automatizirane linije. Način izrade sklopa 6. palube tj. podsekcije B ne razlikuje se od postupka opisanog u izradi sekcije na ravnoj radnoj platformi, tj. od izrade sekcije u položaju obrnutom od položaja montaže.

Peti takt. Na zavarene profile boka, rebara, pozicionira se, uz pomoć radioničke dizalice i uz pomoć brodomonterskog alata, redom: podsekcija B, 5. paluba, 4. paluba i na kraju zrcalo krme. Jednom pozicionirani sklopovi se privaruju MAG-om ili REL-om te se uklanjaju pomoćni zavareni elementi.

Šesti takt. Sklopljena sekcija se zavaruje u potpunosti. Svi spojevi se zavaruju MAG-om te se kad su zavareni bruse na propisani standard. Zavaruju se uške za transport i sekcija se oslobađa od radne platforme. Pomoću vanjske dizalice nosivosti 50 tona sekcija se transportira na obalu gdje se sa plovnom dizalicom transportira na antikorozivnu zaštitu. Prazna radna platforma se također uz pomoć iste dizalice prenosi na početak automatizirane linije za izradu nove sekcije.

7.3. Analiza izrade sekcije 3251 (2. paluba R 217- R 229) gradnje 476 na automatiziranoj liniji

Ova sekcija sastoji se od dva ravna panela, panela druge palube i uzdužne pregrade što čine podsekciju A, i od dva nadsklopa N51 i N52 što su zakrivljene vanjske oplata broda koje zatvaraju sekciju. Podsekcija A izrađuje se na prostoru između hale i obale dok se nadsklopovi izrađuju na automatiziranoj liniji za zakrivljene sekcije. Konstrukcija nadsklopa se sastoji od zakrivljene oplata, uzdužnjaka boka i profila rebara sa pripadajućim koljenima. Njihova izrada odvija se kroz svih šest tatkova automatizirane linije.

Podsekcija A izrađuje se na identičan način kao i kod prethodno opisanih načina izrade sekcije te je izrada potpuno neovisna o izradi nadsklopova. Podsekcija A mora biti potpuno montirana i zavarena da bi se na nju moglo namontirati nadsklop s lijeve i desne strane.

Dimenzije potrebne za izradu oba nadsklopa su 15 x 11 m. Te dimenzije su manje od maksimalne dimenzije radne platforme te se oba nadsklopa izrađuju na jednoj radnoj platformi.

Prvi takt. Na radnu platformu se na podesive upore pozicioniraju limovi vanjske oplata te se sa donje strane pričvršćuju mostićima i privremenim zavarenim elementima. Limovi su pozicionirani na način da vanjska oplata gleda prema dolje a na gornju stranu dolazi kasnije struktura. Kad su limovi pričvršćeni postavlja se keramička obloga na spojevima, šavovima i stikovima, sa donje strane, te se platforma šalje na sljedeću radnu stanicu.

Drugi takt. Limovi se zavaruju EPP automatom. Radni stol se nagiba kako zakrivljenost pita, a budući da su ovi limovi zakrivljeni u dva smjera potreban je simultani rad svih četiriju hidrauličnih cilindara radnog stola da se održi kvaliteta zavara držanjem glave uređaja u vertikalnom položaju s obzirom na zavar. Upravljanje cilindrima vrši se automatski preko upravljačke konzole i uz pomoć podata iz ureda numeričkog trasiranja.

Treći takt. Na zavarene limove vanjske oplata trasiraju se pozicije profila uzdužnjaka boka i profili se dopremaju u paleti sa međuskладишта obrade. Pozicioniranje profila vrši se uz

pomoć gentryja koji hvata profile te ga pritišće uz oplatu lima zbog izbjegavanja zračnosti. Stisnuti profil se privaruje MAG automatom sa kratkim zavarima od cca 20 mm sa obje strane profila. Privareni zakrivljeni panel šalje se dalje na sljedeću radnu stanicu.

Četvrti takt. Privareni se profili zavaruju EPP traktorom sa obje strane profila istovremeno. U međuvremenu dok traje proces zavarivanja profila, iz međuskladišta se dopremaju profili rebara sa koljenima čija montaža slijedi u petom taktu.

Peti takt. Profili rebara se uz pomoć radioničke dizalice pozicioniraju na pozicije te se privaruju REL metodom kratkim zavarima od cca 30 mm na udaljenosti od cca 500 mm. Koljena se također pozicioniraju i privaruju REL metodom.

Šesti takt. Spojevi profila rebara i limova vanjske oplata se zavaruju MAG metodom te se naposljetku bruse na propisanu kvalitetu. Dok se profili i koljena zavaruju montiraju se i zavaruju uške za transport. Kada je sve zavareno i pobrušeno nadsklopovi se oslobađaju od radne platforme te se vanjskom dizalicom nosivosti 45 tona transportiraju izvan hale gdje se sklapa u jedinstvenu sekciju. Istom se dizalicom prazna radna platforma prenosi na početak automatizirane linije.

7.4. Analiza izrade sekcije 4052 (pramac – 6. paluba R 240- R 260) gradnje 476 na automatiziranoj liniji

Niti jedan sklop, nadsklop ili podsekcija ove sekcije pramca ne izrađuje se na automatiziranoj liniji iz istih razloga kao što je to objašnjeno za izradu sekcija u položaju montaže na navozu, tj. na podesivim uporama.

8. USPOREDBA POSTOJEĆEG STANJA SA NOVIM RIJEŠENJIMA PREDMONTAŽE ZAKRIVLJENIH SEKCIJA

Analizom postojećeg stanja u izradi zakrivljenih sekcija došlo se zaključka da su neke aktivnosti suvišne i da nepotrebno oduzimaju vrijeme te time produljuju vrijeme predmontaže. Drugim riječima smanjuju efikasnost procesa predmontaže, tj. količinu prerađenog materijala u određenom vremenskom periodu. Reduciranje i izbjegavanje ponavljanja nekih aktivnosti pridonosi manjim troškovima izrade, znači manji broj sati i broj ljudi potrebnih za izradu sekcije.

Izrada zakrivljenih sekcija postojećom tehnologijom ograničena je zbog slabe opremljenosti brodograđevnih radionica. Radionice su ustvari samo natkrivene radne platforme koje na podlozi imaju ukopane željezničke šine na kojima se odvijaju procesi izrade sekcija. Zbog toga se zakrivljene sekcije izrađuju u položaju obrnutom od položaja montaže na brod, odnosno izrađuju se na bazi koja je ravno opločenje, bilo paluba ili pregrada. Izrada u tom položaju zahtjeva:

- minimalno jedno okretanje sekcije – zbog izbjegavanja nadglavnog zavarivanja, jer malo je zavarivača sa potrebnim atestom za takvu vrstu zavarivanja a trajanje operacije nadglavnog zavarivanja traje i do 3 puta dulje od zavarivanja u povoljnom položaju

- dvostrano zavarivanje šavova i stikova gdje je to moguće – limovi ne zahtijevaju V pripremu ruba i nije potrebno postavljanje keramičke obloge

- zavarivanje uški za okretanje i njihovo uklanjanje – zahtijevaju posebne proračune i dokumentaciju u sustavu podataka transporta i okretanja. Potreban je utrošak dodatnog materijala za izrezati uške, zatim materijal za zavariti ušku te utrošak plinova za rezanje uški i komprimiranog zraka za brušenje spoja

- montaža i demontaža skele – potrebno je angažiranje dodatne specijalizirane radne snage, zavarivanje nosača i konzola skele za sekciju, upotreba drvene građe i kontrola gotove skele od strane ovlaštenih osoba. Kod demontaže postoji skladištenje konstrukcije skele i uklanjanje svih nosača i konzola te brušenje spojeva.

- kod metode 2 i 3 potreban je dodatni materijal za upore i kolijevku – potreban je utrošak materijala i vremena za trasiranje i rezanje limova za izradu kolijevke i njenu montažu. Kod metode 2 potrebna je brodomonterska improvizacija za podlaganje sekcija što dovodi u pitanje kvalitetu geometrije čitave sekcije.

Sve navedene aktivnosti uz utrošenu energiju u vidu radnih plinova i električne energije, materijal, potrebna radna snaga i utrošeni radni sati mogu se reducirati uvođenjem drugačijeg načina izrade zakrivljenih sekcija. Novo rješenje je izrada zakrivljenih sekcija u položaju montaže tj. na vanjskoj oplati. Takva vrsta izrade zakrivljenih sekcija zahtjeva drugačiju organizaciju sklopova i nadsklompova u sekciji. Također postoji mogućnost i korištenja automatiziranih linija za izradu takvih sekcija.

Među odabranim specifičnim sekcijama ima iznimka. Odnosi se na sekciju 4052, tj. sekciju pramca koja je vrlo složene konstrukcije. Kao što je prethodno objašnjeno, način izrade ove vrlo specifične sekcije pramca se ne mijenja. Svi postupci, alati, radne površine i broj ljudi ostaju isti i zato usporedbe za tu sekciju nema.

8.1. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 2021

Usporedba aktivnosti za sva tri načina izrade sekcije dvodna potvrđuje da sadašnji način izrade ima nekoliko aktivnosti više nego nova rješenja za način izrade. Usporedba aktivnosti potrebnih za izradu sekcije 2021 dana je u tablici 11. U ovoj tablici nije uključena izrada nadsklopova N51 i N52 jer njih se promatra kao zasebni dio sekcije koji se ne montira u fazi predmontaže već u fazi ukupnjavanja neposredno prije montaže.

Tablica 11. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 2021

POSTOJEĆI NAČIN IZRADE	IZRADA NA PODESIVIM UPORAMA	IZRADA NA AUTOMATIZIRANOJ LINIJI
izrada podsekcija A, B i C	izrada podsekcija A, B i C	izrada podsekcija A, B i C
spajanje podsekcija u jedinstvenu konstrukciju	okretanje podsekcija i montaža na sklop oplata	okretanje podsekcija i montaža na sklop oplata
pozicioniranje limova oplata	pozicioniranje limova oplata	pozicioniranje limova oplata
privarivanje limova za rebrenice		
	pričvršćivanje limova mostićima	pričvršćivanje limova mostićima
montaža skele		
postavljanje keramičke obloge	postavljanje keramičke obloge	postavljanje keramičke obloge
zavarivanje šavova i stikova	zavarivanje šavova i stikova	zavarivanje šavova i stikova
uklanjanje pomoćnih elemenata za pozicioniranje limova	uklanjanje pomoćnih elemenata za pozicioniranje limova	uklanjanje pomoćnih elemenata za pozicioniranje limova
zavarivanje uški za okretanje		
uklanjanje skele		
okretanje sekcije		
postavljanje upora za novi položaj sekcije u hali		
pozicioniranje i spuštanje sekcije		
uvođenje ventilacije i rasvjete u sekciju	uvođenje ventilacije i rasvjete u sekciju	uvođenje ventilacije i rasvjete u sekciju
zavarivanje spoja strukture i oplata	zavarivanje spoja strukture i oplata	zavarivanje spoja strukture i oplata
brušenje zavarivanja oplata i strukture	brušenje zavarivanja oplata i strukture	brušenje zavarivanja oplata i strukture
zavarivanje pokrova dvodna	zavarivanje pokrova dvodna	zavarivanje pokrova dvodna
uklanjanje uški za okretanje		
zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport

Vidljivo je ako se usporedi postojeći način izrade sekcije 2021 i izradu na podesivim uporama ili na automatiziranoj liniji da su neke aktivnosti suvišne i time usporavaju i otežavaju izradu sekcije. Kod izrade podsekcija A, B i C nema nikakvih razlika osim u načinu njihovog međusobnog spajanja. Bitna razlika u ova dva načina je izrada vanjske oplata. Kod postojećeg načina ona se izrađuje oblaganjem spojenih podsekcija lim po lim, dok se kod podesivih upora ona izrađuje kao cijeli sklop na koji se kasnije montiraju podsekcije.

Smanjenje broja aktivnosti postignut je tako što kod izrade na podesivim uporama nemamo operacije montaže i demontaže skele na vanjskoj oplati i nemamo zahtjevnu operaciju okretanja i ponovnog pozicioniranja sekcije u hali. To bitno olakšava postupak izrade sekcije jer nema potrebe za dodatnom specijaliziranom radnom snagom – skelara. Također nije potrebno angažiranje vanjskih dizalica velikih nosivosti sve dok sekcija nije gotova i spremna za transport za daljnje faze proizvodnje. Okretanje sekcije se ne uzima kao ušteda jer kod postojeće metode okreće se čitava sekcija dok kod izrade na podesivim uporama se okreću podsekcije i te operacije iziskuju jednaki broj radnih sati. Okretanje sekcije podrazumijeva: zavarivanje uški za okretanje, dolazak dizalice, vezanje sekcije, podizanje, okretanje uz asistenciju druge dizalice ili slobodne radne površine, namještanje upora za novu poziciju sekcije, spuštanje, odvezivanje i uklanjanje zavarenih uški.

Izrada na automatiziranoj liniji je vrlo slična onoj na podesivim uporama. Bitna razlika je u tome što se samo sklop vanjske oplata izrađuje na automatiziranoj liniji, a ostalo se izrađuje identično kao i kod podesivih upora. U tablici 11. navedene su aktivnosti vezane za izradu podsekcija A, B i C te operacije vezane za spajanje podsekcija i sklopa vanjske oplata iako se te operacije ne izvode na samoj liniji već izvan hale ali isto u položaju montaže odnosno na podesivim uporama. Zbog ograničene nosivosti radnih platformi na automatiziranoj liniji se izrađuje samo sklop vanjske oplata i nadsklopovi N51 i N52.

Tijek izrade nadsklopova N51 i N52 se ne razlikuje bitno za sva tri načina izrade. Jedina razlika je u tome što kod pozicioniranja limova na podesive upore nema mjesta improviziranju i točnost pozicioniranja je veća. Usporedba aktivnosti potrebnih za izradu nadsklopova N51 i N52 dana je u tablici 12.

Tablica 12. Usporedba aktivnosti za izradu nadsklopova N51 i N52 sekcije 2021

POSTOJEĆI NAČIN IZRADE	IZRADA NA PODESIVIM UPORAMA	IZRADA NA AUTOMATIZIRANOJ LINIJI
pozicioniranje i podlaganje limova na određenim visinama	pozicioniranje limova na podesivim uporama	pozicioniranje limova na podesivim uporama
pričvršćivanje spojeva mostićima	pričvršćivanje spojeva mostićima	pričvršćivanje spojeva mostićima
postavljanje keramičke obloge	postavljanje keramičke obloge	postavljanje keramičke obloge
zavarivanje šavova i stikova	zavarivanje šavova i stikova	zavarivanje šavova i stikova
uklanjanje pomoćnih elemenata	uklanjanje pomoćnih elemenata	uklanjanje pomoćnih elemenata
trasiranje pozicija rebara	trasiranje pozicija rebara	trasiranje pozicija rebara
pozicioniranje i privarivanje rebara	pozicioniranje i privarivanje rebara	pozicioniranje i privarivanje rebara
zavarivanje spoja rebara i lima	zavarivanje spoja rebara i lima	zavarivanje spoja rebara i lima
postavljanje dijelova proveze	postavljanje dijelova proveze	postavljanje dijelova proveze
brušenje zavora	brušenje zavora	brušenje zavora
zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport

Predviđeno je da se broj radnika potrebnih za izradu sekcije 2021 ne mijenja kod izrade na podesivim uporama na neautomatiziran način tj. da ostaje isti broj radnika kao što je i broj radnika na postojeći način. Iz tablice 11. vidi se da su sljedeće aktivnosti suvišne: privarivanje oplata za strukturu sa zavarima od 1200mm na svakom drugom rebru, montaža skele, zavarivanje uški za okretanje, uklanjanje skele, operacija okretanja sekcije, ponovno pozicioniranje sekcije u hali i uklanjanje uški za okretanje.

Vrijeme potrebno za montažu i demontažu skele je 12 radnih sati i obavljaju ih 4 radnika a za operacije okretanja potrebno je cca 1 sat. Cijena radnog sata po radniku u neautomatiziranom pogonu iznosi 15 eura. U tu cijenu ulazi plaća radnika, amortizacija alata i radionice koju radnik koristi te troškovi energije potrebni za rad.

U proračun uštede vremena vrijeme okretanja nije uzeto u obzir jer predviđa se da vrijeme potrebno za okretanje sekcije postojećom metodom traje jednako dugo koliko i okretanje podsekcija kod izrade sekcije na podesivim uporama.

Potrebno vrijeme za obavljanje operacija privarivanja limova oplata za strukturu iznosi:

$N_{rebrenica} = 8$ - broj rebrenica na kojima se zavari privarivanja obavljaju

$N_{zavara} = 6$ - broj zavara po rebrenici

$L = 1,2m$ - duljina jednog zavara

$L_{ukupno} = N_{rebrenica} \cdot N_{zavara} \cdot L = 57,6m$ - ukupna duljina zavara

$v_{MAG} = 0,15 \frac{m}{min}$ - brzina nadglavnog zavarivanja MAG metodom

$k = 0,6$

$t_{ukupno} = \frac{L_{ukupno}}{v_{MAG} \cdot k} = 640 min$ - ukupno vrijeme potrebno za privarivanje za jednog zavarivača

$N_{zavarivača} = 4$ - broj zavarivača na sekciji

$t_{privar} = \frac{t_{ukupno}}{N_{zavarivača}} = 160 min$ - vrijeme potrebno za privarivanje

-ušteta u vremenu izradom na podesivim uporama:

$\Delta_t = t_{privar} + t_{skela} = 14h40 min = 14,6h$

8.2. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 3381

Usporedba aktivnosti za sva tri načina izrade sekcije boka također potvrđuje da sadašnji način izrade ima nekoliko aktivnosti više nego nova rješenja za način izrade. Usporedba aktivnosti potrebnih za izradu sekcije 3381 dana je u tablici 13.

Tablica 13. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 3381

POSTOJEĆI NAČIN IZRADE	IZRADA NA PODESIVIM UPORAMA	IZRADA NA AUTOMATIZIRANOJ LINIJI
pozicioniranje limova oplata na radnu površinu	pozicioniranje limova oplata na podesive upore	pozicioniranje limova oplata na podesive upore
privarivanje limova	pričvršćivanje limova sa mostićima	pričvršćivanje limova sa mostićima
postavljanje pločice za EPP	postavljanje keramičke obloge	postavljanje keramičke obloge
zavarivanje šavova i stikova s unutarnje strane	zavarivanje šavova i stikova jednostrano	zavarivanje šavova i stikova jednostrano
trasiranje pozicije rebara	trasiranje pozicije rebara	trasiranje pozicije rebara
pozicioniranje i privarivanje rebara	pozicioniranje i privarivanje rebara	pozicioniranje i privarivanje rebara
zavarivanje rebara za oplatu	zavarivanje rebara za oplatu	zavarivanje rebara za oplatu
brušenje zavora	brušenje zavora	brušenje zavora
izrada podsekcije B	izrada podsekcije B	izrada podsekcije B
izrada sklopa 4. palube	izrada sklopa 4. palube	izrada sklopa 4. palube
izrada sklopa zrcala krme	izrada sklopa zrcala krme	izrada sklopa zrcala krme
montaža podsekcije i sklopova na oplatu	montaža podsekcije i sklopova na oplatu	montaža podsekcije i sklopova na oplatu
zavarivanje podsekcije i sklopova za oplatu	zavarivanje podsekcije i sklopova za oplatu	zavarivanje podsekcije i sklopova za oplatu
zavarivanje uški za okretanje okretanje sekcije		
okretanje sekcije		
zavarivanje šavova i stikova s vanjske strane		
uklanjanje pomoćnih pločica	uklanjanje mostića	uklanjanje mostića
uklanjanje uški za okretanje		
zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport

Izvodom potrebnih operacija za izradu sekcije 3381 vidi se da kod postojeće metode izrade postoje operacije okretanja i operacije dvostranog zavarivanja vanjske oplata koje kod druge dvije metode nema. Potrebna priprema rubova limova je drugačija za novije metode izrade a također je drugačija priprema zavarivanja te zavarivanje šavova i stikova. Postojećom metodom sučeljni I spojevi šavova i stikova zavaruju se EPP automatom, dok kod druge dvije nove metode rubovi limova su pripremljeni za sučeljni V spoj te se zavaruju jednostrano MAG metodom. Time je izbjegnuto okretanje sekcije.

Još jedna prednost podesivih upora naspram postojećeg načina je ta da nema mjesta improvizaciji za podlaganje vanjske oplata na visine i točnost pozicioniranja je veća. Operacije vezane za okretanje su suvišne i upravo to je glavni razlog poboljšanja u načinu izrade sekcije.

Sekcija 3381 prolazi kroz sve taktove automatizirane linije za izradu zakrivljenih sekcija. Proces kroz 6 taktova vrlo je sličan izradi na podesivim uporama, samo je razlika u brzini izrade sekcije.

Podsekcija B, sklop zrcala krme i 4. palube izrađuju se potpuno identično u sva 3 slučaja i potpuno su neovisni o načinu izrade vanjske oplata.

Jedan sat je potreban za operacije vezane za okretanje sekcije, a kod izrade na podesivim uporama okretanja nema. Metode zavarivanja šavova i stikova su različite a uštedu vremena na zavarivanju pokazuje tablica 14.

Tablica 14. Usporedba zavarivanja šavova i stikova sekcije 3381

	EPP dvostrano	MAG jednostrano
broj zavarivača	1	4
duljina zavora	81,1 m	40,55 m
brzina zavarivanja	0,12 m/min	0,025 m/min
broj prolaza	1	1
potrebno vrijeme zavarivanja	18,7 h	11,26 h

Ukupna ušteda vremena za izradu sekcije na podesivim uporama u položaju montaže 3381 je 8,45 ili cca jedna smjena (7,45h zavarivanje + 1h okretanje sekcije).

8.3. Usporedba aktivnosti za izradu sekcije 3251

Dvije komponente ove sekcije nisu dio zakrivljene strukture i zato nisu ovisne o aktivnostima vezanih za izradu zakrivljenih sekcija. To su panel 2. palube i panel uzdužne pregrade koji se izrađuju na ravnoj radnoj platformi neovisno kako će se izraditi nadsklopovi N51 i N52 vanjske oplata oplata koji su zakrivljeni.

Zakrivljeni dijelovi ove sekcije su nadsklopovi N51 i N52 koji su dio zakrivljene vanjske oplata sa strukturom. Usporedba aktivnosti potrebnih za izradu nadsklopova N51 i N52 sekcije 3251 dana je u tablici 15.

Tablica 15. Usporedba aktivnosti za izradu nadsklopova n51 i N52 sekcije 3251

POSTOJEĆI NAČIN IZRADE	IZRADA NA PODESIVIM UPORAMA	IZRADA NA AUTOMATIZIRANOJ LINIJI
projektiranje kolijevke		
operacije vezane za materijal kolijevke		
izrada kolijevke		
kontrola geometrije kolijevke		
pozicioniranje limova	pozicioniranje limova	pozicioniranje limova
pričvršćivanje limova mostićima	pričvršćivanje limova mostićima	pričvršćivanje limova mostićima
postavljanje keramičke obloge	postavljanje keramičke obloge	postavljanje keramičke obloge
zavarivanje šavova i stikova	zavarivanje šavova i stikova	zavarivanje šavova i stikova
uklanjanje mostića	uklanjanje mostića	uklanjanje mostića
trasiranje pozicija uzdužnjaka i rebara	trasiranje pozicija uzdužnjaka i rebara	trasiranje pozicija uzdužnjaka i rebara
pozicioniranje i privarivanje profila	pozicioniranje i privarivanje profila	pozicioniranje i privarivanje profila
uzdužnjaka i rebara	uzdužnjaka i rebara	uzdužnjaka i rebara
zavarivanje uzdužnjaka i rebara	zavarivanje uzdužnjaka i rebara	zavarivanje uzdužnjaka i rebara
brušenje zavora	brušenje zavora	brušenje zavora
zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport	zavarivanje uški za transport

Kod izrade ovih nadsklupova na postojeći način postoji utrošak vremena za projektiranje kolijevke, zatim utrošak dodatnog materijala za izradu kolijevke i operacije vezane za njegovu obradu. Također potrebna je i kontrola geometrije izrađene kolijevke što podrazumijeva dodatni angažman ljudi koji se bave tim ispitivanjima. Iako se pokušava što veći broj zakrivljenih sekcija koje zahtijevaju kolijevku organizirati tako da se izrađuju na istoj kolijevci, potreba za materijalom, utrošak vremena i radne snage za izradu kolijevke uvijek postoji. Izbacivanje kolijevke i izrada na podesivim uporama ili automatiziranoj liniji dovodi do poboljšanja proizvodnje i uštedu troškova proizvodnje.

Procijena je da je za izradu kolijevke potrebno oko 10 sati što pokazuje tablica 16.

Tablica 16. Popis aktivnosti za izradu kolijevke

Aktivnosti	Vrijeme
projektiranje	2 h
skladištenje limova	1 h
obrada	1 h
transport do mjesta izrade sekcije	0,5 h
montaža	3 h
kontrola geometrije	1 h
demontaža i deponiranje	1 h
Ukupno:	9,5 h

8.4. Tehno-ekonomska analiza uvođenja novih metoda izrade zakrivljenih sekcija

8.4.1. Analiza izrade na podesivim uporama na neautomatizirani način

Godišnji plan brodogradiliša predviđa dva broda za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera te tri broda jaružara. Prema analizi strukture trupa to čini ukupno 363 zakrivljene sekcije. Analiza proizvodnosti u ovom radu napravljena je samo za radionicu P2 jer je samo za nju predviđeno da se opremi podesivim uporama. Godišnji kapacitet radionice P2 je 160 sekcija godišnje ili prosječno 3 sekcije tjedno. Da bi se analiziralo moguće povećanje proizvodnosti potrebno je procijeniti uštedu radnih sati za izradu zakrivljenih sekcija na podesivim uporama u odnosu na postojeći način izrade. Procijena uštede radnih sati tablično je prikazana u tablici 17. U prvom stupcu nalaze se 3 postojeće metode, u drugom stupcu broj sekcija koje se godišnje izrade u hali P2 po određenoj postojećoj metodi, treći stupac prikazuje uštedu radnih sati po jednoj sekciji na podesivim uporama u odnosu na postojeću metodu te u zadnjem stupcu prikazana je godišnja ušteda radnih sati za izradu na podesivim uporama u odnosu na pojedinu postojeću metodu.

Kod metode 1 glavna ušteda vremena odnosi se na nadglavno privarivanje vanjske oplata za strukturu sekcije. Za karakterističnu sekciju dvodna (2021) ta ušteda iznosi 2h i 40 min. Međutim taj podatak ne može se primjeniti za sve sekcije izrađene metodom 1 jer takvo se privarivanje limova vanjske oplata (zavari od 1200 mm na svakoj drugoj rebrenici) primjenjuje samo u 30% zakrivljenih sekcija izrađenih metodom 1. Za ostalih 70% sekcija procjenjuje se da se privarivanje vanjske oplata za strukturu vrši sa cca 300 mm zavara i to ne na svakom drugom rebru te se procjenjuje da vrijeme potrebno za takvo privarivanje iznosi 40 min. Kao relevantan podatak uzet je prosjek jednog i drugog načuna privarivanja i došlo se do uštede od 1,25h. Mora se uzeti u obzir da su skelari specijalizirana radna snaga i da oni ne sudjeluju direktno u izradi sekcije i zato nisu uključeni u analizi proizvodnosti.

Kod metode 2 ušteda radnih sati u izradi na podesivim uporama je samo u načinu zavarivanja šavova i stikova u odnosu na postojeći način. Analiza zavarivanja napravljena u tablici 14 za sekciju 3381 pokazuje da se izradom na podesivim uporama može uštediti 7,45h. Kod postojeće metode postoji operacija okretanja sekcije dok kod izrade na podesivim uporama okretanja sekcije nema. To se odražava kao dodatan 1h uštede ili kao ukupna ušteda od 8,45h.

Kod metode 3 također ne sudjeluju sve operacije direktno u izradi sekcije, tj. samo operacije montaže i demontaže kolijevke spadaju direktno u uštedu jer te poslove obavljaju brodomonteri koji izrađuju sekcije. Uštede radni sati kod metode 3 su vrijeme potrebno za montažu (3h) i demontažu (1h) kolijevke prikazano u tablici 17.

Tablica 17. Uštede radni sati za izradu zakrivljenih sekcija

	Broj sekcija	Ušteda vremena po sekciji	Godišnja ušteda
Metoda 1	100	1,25 h	125 h
Metoda 2	29	8,45 h	245 h
Metoda 3	31	4 h	124 h
		Ukupno:	494 h

Ukupni uštede radni sati za izradu zakrivljenih sekcija na podesivim uporama kada se podijele sa 2 radna dana (16h) koliko je prosječno vrijeme izrade jedne zakrivljene sekcije u hali P2 daje ekvivalent od 31 sekcije. Povećanje proizvodnosti od 160 sekcija za 31 sekciju više uštedom vremena zbog suvišnih aktivnosti dolazi se do brojke od 191 sekciju godišnje. U postotcima povećanje proizvodnosti radionice P2 iznosi 19,5%.

8.4.2. Analiza izrade na automatiziranoj liniji za zakrivljene sekcije

Analiza izrade zakrivljenih sekcija na automatiziranoj liniji provedena je samo kroz proizvodni program hale P2 jer nije moguće sve zakrivljene sekcije izraditi na automatiziranoj liniji kao što je i prethodno opisano u radu. U hali P2 godišnje se izrađuje 160 sekcija koje nisu sve zakrivljene, ali uvođenjem automatizirane linije i preraspodjelom sekcija po halama kapacitet ostaje isti a u hali P2 bi se izrađivale samo zakrivljene sekcije, tj. njih 160 godišnje. Tjedno je to 3 sekcije ili svaki drugi dan jedna jer uzima se radni tjedan od 6 dana.

Automatizirana linija za izradu zakrivljenih sekcija sastoji se od šest taktova i predviđeno trajanje jednog takta je jedna radna smjena tj. 8 sati. Bitna razlika od metode neautomatizirane izrade na podesivim uporama je ta da automatizirana linija zahtijeva bitno manje radne snage. U radionici P2 prosječno se istovremeno izrađuju 6 zakrivljenih sekcija. Prosječni broj ljudi potrebnih za izradu jedne sekcije postojećim načinom je 8. To znači da je u jednom trenutku u hali oko 50 ljudi koji sudjeluju u izradi sekcija. Automatiziranjem hale potreban broj ljudi pada na 30 ali je satnica po čovjeku veća. Cijena jednog sata rada po čovjeku na automatiziranoj liniji iznosi 20 eura. U tu cijenu ulazi plaća radnika, amortizacija alata i radionice koji radnik koristi te troškovi energije potrebnih za izradu sekcije

Proračun povrata investicije automatizirane linije:

- postojeći način izrade: 3 sekcije tjedno = 160 sekcija godišnje

$N_{\text{radnika}} = 50$	- broj stalno zaposlenih u hali
$N_{\text{sati}} = 8 \text{ h}$	- broj radnih sati po radniku dnevno
$N_{\text{dana}} = 300$	- broj radnih dana u godini
$C = 15 \text{ Eur}$	- cijena radnog sata po radniku u neautomatiziranoj hali

Cijena izrade sekcija u hali P2 godišnje:

$$C_{P2-A} = N_{\text{radnika}} \cdot N_{\text{sati}} \cdot N_{\text{dana}} \cdot C = 1800000 \text{ Eur}$$

- izrada na automatiziranoj liniji: 3 sekcije tjedno = 160 sekcije godišnje

$N_{\text{radnika}} = 30$ - broj stalno zaposlenih u hali

$N_{\text{sati}} = 8 \text{ h}$ - broj radnih sati po radniku dnevno

$N_{\text{dana}} = 300$ - broj radnih dana u godini

$C = 20 \text{ Eura}$ - cijena radnog sata po radniku u neautomatiziranoj hali

Cijena izrade sekcija na automatiziranoj liniji u hali P2 godišnje:

$$C_{P2-B} = N_{\text{radnika}} \cdot N_{\text{sati}} \cdot N_{\text{dana}} \cdot C = 1440000 \text{ Eura}$$

- razlika u cijeni rada:

$$\Delta_c = C_{P2-A} - C_{P2-B} = 360000 \text{ Eura}$$

Cijena automatizirane linije prema dostupnom katalogu proizvođača je cca 3000000 Eura. Znači da bi povrat investicije bio kroz razdoblje od 8 godina.

9. ZAKLJUČAK

Uvođenje novih tehnologija u industriji i novih načina izrade nekog proizvoda nužno je za ostvarenje veće efikasnosti postrojenja i ostvarenje većeg dobitka kojim svi teže.

Konkurentnost na tržištu osnova je za opstanak, osobito u brodogradnji gdje se svjetska financijska kriza izuzetno odražava velikim padom narudžbi novih brodova. Upravo zato brodogradilište teži izradi sve kompleksnijih brodova sa većom dodanom vrijednošću u što kraćem roku. Da bi se to postiglo, svaki segment proizvodnje se pomno analizira i pokušava se naći prostora za napredak kako u tehnološkom tako i u organizacijskom smislu.

Ovim radom analiziran je proces predmontaže zakrivljenih sekcija, tj. mogućnosti unaprijeđenja procesa uz minimalne troškove ulaganja. Za proizvodni program brodogradilišta koji se sastoji od broda za prijevoz automobila, kamiona i kontejnera te broda jaružara napravljena je detaljna analiza količine zakrivljenih sekcija za određene makroprostore svrstanih po postojećim načinima izrade. Iz analize vidi se da je gotovo 50% od ukupne mase sekcija broda za prijevoz automobila i kontejnera zakrivljeno dok je kod broda jaružara taj postotak nešto manji od 25%. To je značajna količina sekcija i zbog toga se napravila detaljna analiza postupaka u izradi i načina izrade u svrhu poboljšanja proizvodnje.

Postojeće metode izrade sekcije mogu se podijeliti u tri grupe i svaka je na svoj način posebna. Jedinstveno obilježje sve tri metode je to što se izrada zakrivljenih sekcija odvija na ravnoj horizontalnoj radnoj platformi. To je veliki ograničavajući faktor koji se rješava pomoćnim napravama kao što su upore, kolijevke ili izrada u položaju obrnutom od položaja montaže. Kako bi se izbjegle neke od potrebnih aktivnosti u postojećim metodama izrade, napravljena je analiza novijih metoda gdje horizontalna ravna platforma više nije dominantni faktor. Za odabrane karakteristične sekcije prikazane su operacije, alati, radne površine i broj ljudi koji su potrebni za njihovu izradu.

Uvođenjem podesivih upora ili automatizirane linije kao nove metode za izradu zakrivljenih sekcija i prikazom tijeka izrade sekcija dolazi se do zaključka da su neke operacije postojećim načinom suviše i da nepotrebno oduzimaju dragocijeno vrijeme. Izrada u položaju montaže izbacila je operacije okretanja sekcija, montažu i zavarivanje uški za okretanje i kod nekih sekcija dugotrajnu montažu i demontažu skele. Uvođenje automatizirane linije dovodi do racionalizacije i boljeg iskorištenja prostora u radionici i standardizaciju radnih postupaka.

Usporedbom postojećih metoda te neautomatizirane i automatizirane linije za izradu zakrivljenih sekcija dolazi se do zaključka da definitivno mjesta za napredak u proizvodnji ima. Promjene metoda proizvodnje u brodogradnji zahtjeva promjene u proizvodnom inženjerstvu i u projektiranju broda uopće. Proizvodni inženjeri, sa dobrim poznavanjem osobina proizvodnog procesa, metoda proizvodnje i dostupnim sredstvima u brodogradilištu, daju veliki naglasak na definiranje principa i pravila po kojem će se sekcije krojiti i po kojem će se principu njihova izrada ostvariti. Ograničenja dimenzija i masa ključan su čimbenik u tom predproizvodnom tj. projektno - tehnološkom procesu. Proizvodni inženjeri i projektanti u brodogradilištu moraju biti upoznati i svjesni tih ograničenja da bi napredak u proizvodnji bio što očitiji i da se dođe do optimalnih rezultata, kako tehnoloških tako i financijskih. Samo tako se brodogradilište može nametnuti na svjetskom tržištu kao konkurentan i ozbiljni čimbenik.

Procijena je da bi se produktivnost u izradi zakrivljenih sekcija mogla poboljšati za 19,5% što bi značilo povećanje kapaciteta izrade za 31 sekciju a moglo bi se ići i prema racionalizaciji broja ljudi. Tehno – ekonomska analiza dala je rezultat da uvođenje automatizirane linije dovodi do još veće racionalizacije broja ljudi a povrat investicije je 8 godina. Često je potreba racionalizacije broj ljudi zbog sve težeg nalaženja ljudi koji su zainteresirani za ovako teške i složene poslove koji zahtjevaju veliko umijeće i stručnost.

10. LITERATURA

- [1] Furlan Z., Lučin N., Pavelić A., Osnove brodogradnje, Školska knjiga, Zagreb 1982.
- [2] Sladoljev Ž., Skripta za kolegij Tehnologija brodogradnje, FSB Zagreb
- [3] Kralj S., Andrić Š., Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Sveučilište u Zagrebu 1992.
- [4] Brodogradilište Uljanik, Zavarivanje – izrada trupa, Pula 2008.
- [5] Brodogradilište Uljanik, Plan sekcija gradnje 476, Pula 2009.
- [6] Brodogradilište Uljanik, Plan sekcija gradnje 480, Pula 2008.
- [7] Kothe U., Process Capability Factors in the Production of Curved Panels, World Maritime Technology Conference 2009.
- [8] Mikačić N., Čulić M., Proizvodna linija zakrivljenih sekcija, SORTA 2006.
- [9] Sladoljev Ž., Zaplatić T., production Engineering in Modern Shipyards, FSB Zagreb 2005.